

1,3

BEI TRÄG E

Anklärung

der

Ercheinungen und Gesetze

des

organischen Lebens

über den innern Bau der Netzhaut

des Auges

Gottfried Reinhold Treviranus.

ERSTES BUCH

Resultate

neuer Untersuchungen über die Theorie des Sehens und
über den innern Bau der Netzhaut des Auges.

Mit zwei Kupfertafeln und vier Holzschnitten.

Die Theorie des Sehens ist eine der wichtigsten und
schwierigsten der Naturgeschichte. Sie ist nicht nur
für die Physiologie, sondern auch für die Philosophie
von großer Bedeutung. Treviranus hat in diesem
Buche die neuesten Untersuchungen über dieses
Verfahren zusammengestellt und sie in eine
einfache und verständliche Form gebracht.

ERSTES BUCH

Resultate neuer Untersuchungen über die Theorie des Sehens und über den innern Bau der Netzhaut des Auges.

BEITRÄGE
zur
Aufklärung
der
Erscheinungen und Gesetze
des
organischen Lebens.

Von
Gottfried Reinhold Treviranus.

ERSTEN BANDES DRITTES HEFT.

Resultate
neuer Untersuchungen über die Theorie des Sehens und
über den innern Bau der Netzhaut des Auges.

Mit zwei Steintafeln und vier Kupfertafeln.

*Herausgegeben nach dem Tode des Verfassers und begleitet mit
einer Vorrede vom Geheimen-Rath Tiedemann.*

BREMEN 1837.

Druck und Verlag von Johann Georg Heyse.

RESULTATE
neuer Untersuchungen
über
die Theorie des Sehens
und
über den innern Bau der Netzhaut
des Auges.

Von
Gottfried Reinhold Treviranus.

Mit zwei Steintafeln und vier Kupfertafeln.

*Herausgegeben nach dem Tode des Verfassers und begleitet mit
einer Vorrede vom Geheimen-Rath Tiedemann.*

BREMEN 1837.

Druck und Verlag von Johann Georg Heyse.

попавшийся в плен

die Theorie des Sehens

Gottfried Reinhold Treviranus.

V o r w o r t.

In tiefem Schmerz ergreife ich die Feder, um die letzte Arbeit eines theuren Freundes, der den Wissenschaften, seinem Wirkungskreise, seiner Familie und seinen Freunden zu früh entrissen worden ist, mit einem biographischen Vorworte zu begleiten. Die nächsten Verwandten des Entschlafenen äusserten diesen Wunsch, den warme Hochachtung nicht unbeachtet zu lassen gebietet, da ich das Glück hatte seit zwanzig Jahren mit dem trefflichen Manne in lebhaftem wissenschaftlichen Verkehr und den innigsten Freundschafts-Verhältnissen zu stehen, was mir Gelegenheit gab, in ihm den Gelehrten und Menschen achten und lieben zu lernen.

Gottfried Reinhold Treviranus gehörte einer Familie an, die in früherer Zeit in den Rheinlanden, späterhin im nördlichen Deutschland lebte,

und aus welcher viele ausgezeichnete Geistliche hervorgegangen sind. Er ward am 4ten Februar 1776 zu Bremen geboren, wo sein Vater Kaufmann war. Die erste wissenschaftliche Bildung erhielt er auf dem Gymnasium seiner Vaterstadt. Vorzüglich sprach ihn die Mathematik an, worin er schnell grofse Fortschritte machte. Auch für die Physik zeigte er grofse Vorliebe, sowie überhaupt für die Naturwissenschaften. Diese Neigung war es, die den jungen Treviranus zum Studium der Heilkunde führte, mit dem er sich in Göttingen während der Jahre 1793 bis 96 mit jenem Eifer beschäftigte, der alle seine Bestrebungen auszeichnete. In dieser für seine Wifsbegierde neuen Welt zog ihn vor Allem die Naturlehre der lebenden Wesen mächtig an. Schon im August 1795 sendete er eine Abhandlung über die Nervenkraft und deren Wirkungsweise an Reil, welche ohne des Verfassers Namen im ersten Bande des Archivs für Physiologie abgedruckt ist.

Am 24ten September 1796 erlangte Treviranus, nach Vertheidigung seiner Inaugural-Dissertation, *De emendanda Physiologia*, die Doctor-Würde, und kehrte nach seiner Heimath zurück, um sich der Ausübung der Heilkunde zu widmen. Bald nach seiner Rückkunft wurde er am Lyceum, einer damals noch in Bremen zwischen Gymnasium und Universität bestehenden Lehranstalt, zum Professor der Mathematik und Medicin ernannt. Einige Zeit darauf verheirathete er sich mit Elisabeth Focke, deren Verlust er vor drei Jahren zu beklagen hatte.

Treviranus erwarb sich schnell durch seine großen Kenntnisse, sein liebe- und würde-volles Betragen am Krankenbette, das frei von aller Charlatanerie war, das Vertrauen und die Achtung seiner Mitbürger. Ausser der seinem ärztlichen Berufe gewidmeten Zeit lebte er in stiller Zurückgezogenheit, unermüdet emsig mit dem Studium trefflicher Werke und Untersuchungen über den Bau und das Leben der Gewächse und Thiere beschäftigt. Nur im Kreise seiner Familie und im Umgang mit wenigen auserwählten vertrauten Freunden gönnte er sich Erholung. Während des Sommers begab er sich einige Wochen lang auf einen kleinen, in dem freundlichen Oberneuland gelegenen Landsitz, um ungestört der Betrachtung der Natur und seinen Forschungen zu leben. Ein stilles, geräuschloses Leben, bei dem er sich ganz seinen Arbeiten überlassen konnte, war sein höchstes Glück, und dann wirkte sein Geist am kräftigsten. Reisen sagten ihm nicht zu. Nur im Jahr 1810, begab er sich nach Paris, und im Jahr 1829 wohnte er der Versammlung der Naturforscher und Aerzte in Heidelberg bei, nach deren Beendigung ihm das Vergnügen hatte, mit ihm eine Rhein-Reise zu machen, die ihn ungemein erheiterte und erfreute.

Bei solcher Lebensweise und rastloser Thätigkeit ist es begreiflich, wie Treviranus, obgleich ein sehr beschäftigter Arzt, die Literatur der vergleichenden Anatomie und der Physiologie in ihrem ganzen Umfange mit so zahlreichen und so ausgezeichneten Werken bereichern konnte. Im Jahr 1797, bald nach

seiner Heimkunft von der Universität, gab er den ersten, und im Jahr 1799 den zweiten Theil einer Sammlung von gediegenen Aufsätzen über verschiedene Gegenstände der Physiologie, unter dem Titel, Physiologische Fragmente, heraus. Im Jahr 1800 machte er in dem ersten Bande des von Pfaff und Scheel besorgten nordischen Archivs für Natur- und Arznei-Wissenschaft seine schätzbaren Versuche und Beobachtungen über den Einfluß des galvanischen Agens und einiger chemischen Mittel auf das vegetabilische Leben bekannt, sowie Versuche über die Wirkung des Opium und der Belladonna auf die Lungen der Amphibien, nebst einigen Beobachtungen über das galvanische Reizmittel. Schon während seines Aufenthaltes zu Göttingen ging er mit dem Entwurfe eines größeren Werkes um, welches die Physiologie von dem Punkte, wo Haller's Elemente sie gelassen hatten, bis auf unsere Zeit fortführen sollte. Hievon erschien im Jahr 1802 der erste Band, unter dem Titel, Biologie oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Aerzte, die mit dem sechsten Bande geschlossen wurde. Dieses Werk erwarb sich durch die mit umfassender Gelehrsamkeit mitgetheilten That-sachen, die daraus mit großem Scharfsinn gezogenen Folgerungen, so wie durch die Klarheit in der Entwicklung neuer allgemeiner Ansichten über das Leben, hohen Beifall.

Im Jahr 1810 theilte Treviranus Untersuchungen über die Physiologie der Insekten und Fische mit, die sich im dritten Bande der Annalen der Wetterauer

Gesellschaft für Naturkunde befinden. Dann traten seine schönen Untersuchungen über den innern Bau der Arachniden ans Licht, mit fünf Kupfertafeln, wozu er die Zeichnungen gefertigt hatte. Vom Jahr 1816 an gab er mit seinem Bruder, Ludolph Christian, die vermischten Schriften anatomischen und physiologischen Inhalts heraus. Der erste Band ist von sechszehn Kupfertafeln begleitet, zu welchen er nicht nur alle Zeichnungen entworfen, sondern von denen er auch die vier letzten selbst in Kupfer gestochen hatte, weil er mit den Leistungen der Kupferstecher unzufrieden war. Solches verdient um so mehr Bewunderung, da er niemals weder im Zeichnen noch im Kupferstechen Unterricht erhalten hatte. Diese an trefflichen Aufsätzen so reiche Sammlung wurde mit dem vierten Bande geschlossen. Auch einer Abhandlung, *de Protei anguinei encephalo*, die sich im vierten Bande der neuen Schriften der königlichen Societät zu Göttingen befindet, fügte er zwei Kupfertafeln bei, deren Zeichnungen und meisterhafter Stich sein Werk sind.

Vom Jahr 1824 an war er mit seinem Bruder und mir Herausgeber der Untersuchungen über die Natur des Menschen, der Thiere und Pflanzen, von welcher Zeitschrift fünf Bände erschienen sind, in denen sich viele Abhandlungen seiner Feder befinden. Im Jahr 1828 erschien das erste Heft der Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinnes-Werkzeuge, welche Schrift aber wegen der beträchtlichen Kosten des splendiden Drucks nicht fortgesetzt wurde. In

den Jahren 1831 und 1833 gab Treviranus unter dem Titel: „Gesetze und Erscheinungen des organischen Lebens“ in zwei Bänden ein Werk heraus, welches einen gedrängten Auszug der Biologie darstellte, mit Beifügung der wichtigsten neueren Forschungen und Entdeckungen der im raschen Fortschreiten begriffenen Wissenschaft, da seit dem Erscheinen des ersten Bandes der Biologie bereits dreißig Jahre verflossen waren. Was aber hier nur kurz behandelt werden konnte, das gedachte er in Beiträgen zur Aufklärung der Gesetze und Erscheinungen des organischen Lebens weiter zu entwickeln, von denen bereits zwei Hefte erschienen sind.

Treviranus zu den Wenigen gehörend, welche die Wissenschaften um ihrer selbst willen lieben und cultiviren, und sich allein der Erforschung der Wahrheit, ohne alle Nebenrücksichten, weihen, lebte in einem Zeitalter, welches sich eben so sehr in den Wissenschaften wie in der Politik in Umwälzungen gefiel. In der Medicin traten rasch nacheinander die verschiedenartigsten Systeme auf, der Brownianismus, die Erregungstheorie, eine phantastische Naturphilosophie, der thierische Magnetismus, die Homöopathie, welche einen umwälzenden und reformirenden Einfluß geltend zu machen versuchten. Von keinem jener Systeme liefs er sich Fesseln anlegen; denn, mit der Geschichte der Philosophie und Heilkunde vertraut, kannte er die mancherlei falschen Richtungen und Irrwege, welche der menschliche Forschungsgeist schon genommen hat, und was diesen verleitet solche

von Neuem zu betreten. Mit Geringschätzung und Verachtung blickte er auf die Revolutionsmänner herab, in denen nur zu oft grobe Unwissenheit mit Selbstsucht und Anmaßung gepaart erschienen.

Alle Schriften Treviranus sind von dem Geiste eines besonnenen und strengen Forschens durchdrungen, frei von aller Phantasterei und Sophisterei. Durch seine umfassenden Studien mit den Leistungen und Bemühungen seiner Vorgänger bekannt, war er nie befangen und einseitig, oder gab längst Erforschtes für neue Entdeckungen aus. Bei allen seinen Untersuchungen leitete ihn das Bestreben die Erscheinungen des Lebens auf dem Wege der treuen, umsichtigen, nicht durch vorgefasste Meinungen umstrickten Beobachtung aufzufassen, sie genau zu analysiren, und ihr ursächliches Verhältniß durch sorgsame und sinnreich angestellte Versuche zu ermitteln. Auf gehörig begründete Thatsachen stützte er dann erst seine allgemeinen Behauptungen und Lehren. Durch diese bei allen seinen Werken in Anwendung gebrachte Methode hat er sich grofse und bleibende Verdienste um die Bearbeitung der Naturlehre der lebenden Wesen erworben, vom In- und Auslande dankbar und ehrend anerkannt. Seine Arbeiten haben zugleich wesentlich dazu beigetragen, eine falsche spekulative Richtung aufzudecken, welche die Naturforschung und Heilkunde eine Zeit lang in Deutschland genommen hatte, irre geleitet und verblendet durch die Gaukeleien einer After-Natur-Philosophie, der eben so sehr gründliches Erfahrungs-Wissen über

die Natur als gesundes Philosophiren abgiengen, und die im Auslande deutsches Forschen einige Zeit lächerlich und verächtlich gemacht hatte. Treviranus Namen wird sich daher dauernd in der Geschichte der Anatomie und Physiologie erhalten. Das sichert ihm sowohl die Fülle der aufgestellten neuen That-
sachen, und die Menge der gemachten Entdeckungen, welche wir seinem grossen Talent im Beobachten und Untersuchen, und seinem unermüdlichen Fleisse verdanken, als die Originalität, der Witz und der Scharfsinn, die sein Genie bei der Aufstellung der Lehren über das Leben an den Tag gelegt hat.

Seit dem Jahre 1832 befand sich Treviranus sehr oft leidend. Er wurde von lange dauerndem, heftigen Husten und Brustbeklemmung befallen, im Frühling des Jahrs 1832 warf er auch Blut aus. Im Monat Juny schrieb er mir: „Ich fühle, daß meine „Lungen nicht mehr in gutem Stande sind; sobald „es meine Geschäfte erlauben, will ich aufs Land zu „meinen Eichen gehen, unter denen mir immer wohl „war.“ Im verflossenen Herbst gesellten sich zu seinen Leiden noch Schlaflosigkeit und öfteres Aussetzen des Pulses, was ihm sehr lästig war. In jener Zeit theilte mir der theure Freund folgendes über seinen Zustand mit: „Von meinem Befinden kann ich nicht „viel rühmen. Im Frühling der beiden vorigen Jahre „litt ich an Blutspeien, dieses trat zwar im jetzigen „Jahre nicht wieder ein. Heftige Congestionen des „Bluts nach der Brust machten mich aber vier Wochen hindurch sehr unwohl. Diese kehren auch noch von

„Zeit zu Zeit zurück. Bei strenger Diät, mässiger
 „Bewegung im Freien und einer mittleren Temperatur
 „der Luft befinde ich mich leidlich. Jede starke
 „körperliche Anstrengung, Hitze und scharfe Kälte
 „aber verursachen mir krampfhaften Husten und er-
 „schwertes Athemholen. Ich kann unter diesen Um-
 „ständen nicht erwarten noch lange auf Erden zu
 „weilen. Indefs fühle ich mich durch meine Be-
 „schwerden an geistiger Thätigkeit wenig gehindert,
 „und deswegen haben sie auf meine Stimmung keinen
 „grossen Einfluss.“

Seiner Krankheit ohngeachtet war er im Laufe
 des Winters anhaltend mit vorliegender Arbeit be-
 schäftigt, wozu er nicht nur die Zeichnungen ge-
 fertigt, sondern deren Stich er sogar besorgt hat.
 Letzterer kostete ihm aber viele Mühe und Anstren-
 gung, und mehrmals äufserte er gegen seine Tochter,
 die ihm seit dem Tode der Gattin, treue liebevolle
 Pflegerin war, wie er bei dieser Arbeit fühle, dafs
 ihm seine sonst so guten Augen den früheren Dienst
 versagten. Kaum war der Druck der Schrift beendet,
 als die über Europa verbreitete Influenza ihn aufs
 Krankenlager brachte. Hier besorgte er noch die
 letzte Correctur der Kupfertafeln, die er mit den
 Worten endigte, „wie freue ich mich diese Schrift
 „so weit vollendet zu haben.“ Einige Tage darauf
 barst ein Lungen - Geschwür, das er schon lange mit
 sich herumgetragen haben mufste, und am 16ten Fe-
 bruar entschlief er sanft und schmerzlos.

Das Hinscheiden des trefflichen Mannes, der sich als practischer Arzt seit vierzig Jahren große Verdienste um seine Mitbürger erworben hatte, und der seiner großen Gelehrsamkeit wegen von allen Gebildeten als eine Zierde seiner Vaterstadt angesehen wurde, erweckte das Gefühl der herzlichsten Theilnahme, das im deutschen Vaterlande wiederhallte. In vollem Mafß verdiente der Verewigte solchen Beweis von liebevoller Achtung; denn es wohnte in ihm ein durch Denken und Wissen geläuterter Geist, dessen rastloses Streben nach Wahrheit mit der Reinheit und Biederkeit eines edelen Charakters im schönsten Einklange stand. Er hatte als Weiser gelebt, und es war ihm gelungen, frei von den Eitelkeiten der Welt, die beneidenswerthe Höhe zu erreichen, Herr über sich selbst zu seyn. Keine niedere Leidenschaft hatte die philosophische Ruhe des von ächtem Sinn für Natur und Menschenwürde beseelten Mannes gestört. Er konnte mit dem Bewußtseyn von der Erde scheiden, keinen Feind, keinen Beleidigten, keinen Gekränkten zu hinterlassen.

Treviranus war in jeder Hinsicht als Mensch eben so ausgezeichnet wie als Gelehrter. Alle die Schwächen und Untugenden, Eitelkeit, Dünkel, Anmaßung, Vornehmthuerei, Hochmuth, Stolz, Recht haberei, Mißgunst, Scheelsucht und Neid, die man leider so oft im Gefolge der Gelehrsamkeit erblickt, waren ihm ganz fremd. Er war einfach, offen, gerade, anspruchlos, bescheiden, fremdes Verdienst überall anerkennend und ehrend, und in seinem

Urtheil mild und schonend. Hiefür geben seine Werke Zeugniß, und solches habe ich während eines vieljährigen Briefwechsels und eines öfteren persönlichen Umgangs wahrzunehmen Gelegenheit gehabt. Er war mit einem vortrefflichem und reich ausgestattetem Gemüth begabt, dessen ganze Tiefe sich aber nur den Seinigen und den vertrauten Freunden aufschloß, und das, je mehr es war, desto weniger zu scheinen sich bestrebte. Er war zugleich ein theilnehmender, warm sich anschließender Freund, für alle Freude, und alles Leid gleich empfänglich. Im Herbst des Jahrs 1831 hatte Treviranus den Tod einer theuren Anverwandtin zu beklagen, und er befand sich in Sorgen wegen einer Krankheit seiner Tochter. Damals schrieb er mir, der ich durch den Verlust einer geliebten Tochter niedergebeugt war: „Ja mein Lieber, „das Leben ist ein trauriges Geschenk, wenn nicht „hinter dem Vorhange der Bühne ein großes Geheimniß ist. Für Eine freudige Stunde viele traurige „Tage, für Eine erfüllte Hoffnung hundert vereitelte! „Lassen Sie uns an jenes Geheimniß glauben und „nach der stillen Wehmuth trachten, wobei das Herz „nicht erstirbt, indem die Schatten der entschlafenen „Geliebten in verklärter Gestalt diesem stets nahe „bleiben.“

Möge sich dir nun, du theurer, unvergeßlicher Freund, mit dem ich für Geist und Gemüth genussreiche, frohe Stunden verlebt habe, das hinter dem Vorhange der Lebens-Bühne schwebende Geheimniß, zu welchem dich ein tief in deiner Seele wurzelnder

Trieb leitete, deinen Ahnungen gemäß, gelöst haben!
Das ist der einzige und letzte Wunsch, den ein
Sterblicher dir nachsendet. Dein Schatten in ver-
klärter Gestalt wird meinem Herzen, so lange wie
es schlägt, stets nahe bleiben.

Heidelberg, den 30ten März 1837.

Tiedemann.

Berichtigung.

Die Tafeln V. und VI. sind in ihrer Bezeichnung verwechselt worden;
man wolle daher die Tafel V. hinter die mit VI. bezeichnete einbinden lassen.

Inhaltsverzeichnis.

I. Resultate neuer Untersuchungen über die Theorie des Sehens	Seite 1.
1. Erläuterung meiner Theorie der Strahlenbrechung in der Crystalllinse, und Beantwortung dagegen ge- machter Einwürfe	» 3.
2. Fortgesetzte Untersuchungen über die blättrige Textur der Crystalllinse des Auges, als Grund des Ver- mögens, einerlei Gegenstand in verschiedener Entfernung deutlich zu sehen.	» 25.
3. Ueber den Scheinerschen Versuch und dessen bewei- sende Kraft für eine Einrichtung des Auges nach der Entfernung des Gegenstandes	» 51.
4. Ueber die Richtung worin Gegenstände, die ausserhalb der Augenaxe liegen, gesehen werden	» 72.
5. Ueber das Sehen der Gegenstände in ihrer wahren Stellung bei umgekehrtem Bilde derselben auf der Netzhaut	» 86.
II. Nachträge zu den Beobachtungen des Verfassers über den innern Bau der Retina	» 91.
Erklärung der anatomischen Figuren	» 102.

Inhaltsverzeichnis

I. Resultate neuer Untersuchungen über die Theorie
des Sehens Seite 1

1. Bestimmung nach Theorie der Strahlenbrechung in
der Crystalline, und Bestimmung dazugehöriger
mancher Einwürfe 3

2. Fortgesetzte Untersuchungen über die Richtung der
der Crystalline des Auges, als Grund der Ver-
mögens, einseitig Gegenstand zu unterscheiden
Erfahrung deutlich zu machen 25

3. Ueber den Scheitelpunkt Versuch und dessen Be-
stimmung durch eine Richtung des Auges nach
der Richtung des Gegenstandes 41

4. Ueber die Richtung, worin Gegenstände, die ausserhalb
der Augenhöhle liegen, gesehen werden 73

5. Ueber das Sehen der Gegenstände in ihrer wahren
Stellung bei umgekehrtem Bilde derselben auf der
Netzhaut 86

II. Beiträge zu den Beobachtungen des Verfassers
über den innern Bau der Netzhaut 91

Bestimmung der anatomischen Figuren 103

I.
Resultate neuer Untersuchungen
 über
die Theorie des Sehens.

Seit der Herausgabe meiner Abhandlung über die blättrige Textur der Crystalllinse u. s. w. regten mich Drang nach völliger Klarheit, wo noch Dunkelheit war, und Widerspruch, den der Inhalt jener Schrift bei einigen Schriftstellern fand, fortwährend zu Untersuchungen über die Lehre vom Sehen auf. Bei der folgenden Darstellung der Resultate dieser meiner neuesten Forschungen werde ich nicht umhin können, jenen Widerspruch zu berücksichtigen. Ich hoffe aber, daß auch der polemische Theil meiner jetzigen Schrift Gewinn für die Wahrheit enthalten wird. Auf jeden Fall werden diese Blätter, in Verbindung mit meinen frühern Werken über die Sehwerkzeuge und das Sehen, ein Beweis meines Strebens seyn, der Physiologie des Auges eine feste Grundlage zu verschaffen, deren sie bedarf, wenn sie nicht immer ein Tummelplatz für bloße Meinungen bleiben soll. Mit dem Experimentiren allein ist es hier nicht gethan. Theorie und Erfahrung müssen eben so hier, wie in

der Optik, Mechanik und Astronomie, Hand in Hand gehen. Manche haben über die schwersten Probleme des Sehens geschrieben, deren ganzes optisches Wissen nicht soviel betrug, wie sich aus jedem Compendium der Physik lernen läßt, oder wohl gar nur aus der phantastischen Farbenlehre eines Mannes genommen war, der sich als Dichter, aber wahrlich nicht als Physiker immer grüne Lorbeern erworben hat. Möge jenes Feld von der anmaassenden Unwissenheit nie mehr betreten werden!

Bremen. Im November 1836.

1.

Erläuterung meiner Theorie der Strahlenbrechung in der Crystalllinse und Beantwortung dagegen gemachter Einwürfe.

Die Theorie der Strahlenbrechung in der Crystalllinse, die ich zuerst im 1ten Heft meiner Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge aufstellte, und nachher in meiner Abhandlung über die blättrige Textur der Crystalllinse u. s. w. weiter ausführte, ist von einigen Schriftstellern, besonders von Herrn Prof. Volkmann*) und Herrn Dr. Köhler**), bestritten worden. Die frühern, dagegen erhobenen Einwürfe habe ich schon in jener Abhandlung beleuchtet. Aus dem, was neuerlich dagegen gesagt ist, muß ich schliessen, daß einige meiner Gegner weder von den Lehren, die sie selber vertheidigen, noch von den meinigen ganz klare Begriffe haben. Ich will es noch einmal versuchen, die Punkte, worauf es hierbei ankömmt, so verständlich wie möglich zu machen.

*) Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns. Leipzig 1836.

**) Ueber Treviranus Ansichten vom deutlichen Sehen in die Nähe und Ferne, namentlich in Beziehung auf dessen Abhandlung über die blättrige Textur der Crystalllinse als Grund dieses Vermögens. Rinteln. 1836.

Das Erste, wovon jede Theorie des Sehens ausgehen muß, ist der Begriff von deutlichem Sehen. Ich verstehe darunter, dem Sprachgebrauche gemäß, ein Sehen des Objects in so bestimmten Umrissen, daß es sich gleich für das, was es ist, erkennen und von den benachbarten Gegenständen unterscheiden läßt. Wir nennen eine Schrift deutlich, wenn jeder Buchstabe derselben sich uns scharf begrenzt, daher in der ihm eigenen Form und hinreichend entfernt von den vorhergehenden und folgenden Buchstaben darstellt. Hierbei kann aber der kleinste Sehewinkel, unter welchem das Object mit scharfen Umrissen und ganz isolirt dem Auge erscheint, immerhin sehr groß seyn. Wer einer Schrift mit langen, breiten und weit von einander abstehenden Buchstaben bedarf, um mit Leichtigkeit zu lesen, sieht, wenn er dies kann, sie doch eben so deutlich als ein Anderer mit einem anders organisirten Auge die Buchstaben der feinsten Schrift. Dieser hat aber ein scharfes Gesicht, das jenem fehlt. Es giebt verschiedene Grade der Bestimmtheit des Umrisses der Bilder auf der Netzhaut und des deutlichen Sehens. Der höhere Grad des letztern geht in das scharfe Sehen über, welches auf der Kleinheit des äussern Sehewinkels beruhet, unter welchem zwei Punkte noch deutlich von einander zu unterscheiden sind. Bei diesem lassen sich absolute und relative Schärfe unterscheiden. Die absolute äussert sich bei verschiedenen Augen in Rücksicht auf das Minimum des äussern Sehewinkels überhaupt; die relative in Betreff der unveränderten Kleinheit des Sehewinkels

bei verschiedenem Abstand der Objecte von einander und vom Auge. Wer z. B. zwei Punkte unter einem Winkel von 25 Secunden noch deutlich von einander unterscheidet, die den mehresten Menschen selbst in der passendsten Entfernung und unter übrigens gleichen Umständen schon bei einem Winkel von 30 Secunden zu einem einzigen zusammenfließen, hat ein absolut scharfes Gesicht. Ein relativ scharfes Auge besitzt der, dem sich zwei Punkte bei unverändertem Abstände derselben von einander und bei gleicher Beleuchtung in der Entfernung sowohl von 6 Zoll als von 2 Fuß unter einerlei Winkel von 30 Secunden als verschieden darstellen.

Was ich deutliches Sehen genannt habe, wurde auch von einem der scharfsinnigsten Schriftsteller über das Sehen, von Jurin*), mit diesem Namen bezeichnet, und auch er gab Bestimmtheit der Umrisse als den Character desselben an; nur nahm er mit Unrecht die Erkennbarkeit der Theile, wenn sie nicht zu klein sind, in seine Erklärung mit auf. Die zur Erkennung des Ganzen nothwendigen Theile müssen sich freilich unterscheiden lassen, wenn das Sehen deutlich seyn soll. Es kömmt aber nicht auf die Theile und deren Gröfse im Allgemeinen an. Wird die Individualität des Gegenstandes durch sehr kleine Theile bestimmt, so müssen auch diese erkennbar seyn, um ihn deutlich zu sehen. Was ich unter scharfem Sehen begreife, heist bei Jurin vollkommene Deutlichkeit desselben. Er unterscheidet aber

*) An Essay upon distinct and indistinct Vision, p. 115, in R. Smith's Compleat System of Opticks.

nicht die Art, die nur auf Eine gewisse Entfernung beschränkt ist, von der, die ein weiteres Feld hat.

Den obigen Unterschieden lassen sich noch andere beifügen, deren Bestimmung indess für unsern jetzigen Zweck überflüssig ist. An jenen verräth sich gleich schon das Mangelhafte der bisherigen Theorie des Sehens, wobei man die Crystalllinse für einen Körper hielt, durch welchen die Strahlen nach den Gesetzen gebrochen würden, die für Kugeln und Linsen von gleichförmiger Dichtigkeit gelten. Hierbei war keine Erklärung der Deutlichkeit des Sehens möglich, ohne zugleich Schärfe desselben anzunehmen. Eine Linse von homogener Dichtigkeit kann nur dann ein scharf begränztes Bild hervorbringen, wenn sich die Strahlen jedes einzelnen Puncts des Objects in einem unendlich kleinen, physischen Punct vereinigen. Hat dieser eine endliche Gröfse, so sind die Ränder desselben von einem Halbschatten umgeben und verwaschen; er ist dann nicht mehr deutlich von andern, ihm nahen Puncten zu unterscheiden, und es findet Undeutlichkeit des Gesichts statt. Ist aber das Bild jedes Puncts des Objects unendlich klein, so wird der Gegenstand nicht bloß deutlich, sondern auch scharf gesehen. Und doch lehrt die Erfahrung in jedem Augenblick, daß deutliches und scharfes Sehen nicht nothwendig verbunden sind. Diese Schwierigkeit war bei der gewöhnlichen Theorie nicht zu heben, ohne ein unaufhörlich wirksames Einrichtungsvermögen des Auges vorauszusetzen, wodurch erreicht würde, daß bei jedem Abstand des Objects vom Auge die Strahlen der Puncte desselben sich in unendlich kleinen Bildern

auf der Netzhaut vereinigten. De la Hire und Le Roy suchten das Mittel, welches die Accommodation hervorbringe, in der, dem Abstände des Objects entsprechenden Erweiterung und Verengerung der Pupille. Olbers*) hat aber sehr richtig gezeigt, daß dieses Mittel hier nicht ausreicht. So war man denn genöthigt, andere Erklärungsgründe in Veränderungen der Strahlenbrechung im Auge oder der Gestalt dieses Organs aufzusuchen, die oft seltsam genug ausfielen und ausfallen mußten, weil die Mehrsten, die sie aufstellten, von dem, was das angegebene Mittel bewirken sollte, keine klare Begriffe hatten. Es hätte hierbei eine fortwährende und eine gelegentliche Accommodation des Auges unterschieden werden müssen. Jene würde, wenn die zum Grunde liegende Voraussetzung wahr wäre, bei jedem deutlichen Sehen in verschiedenen Entfernungen, diese bei dem Bedürfnis der größten Schärfe eintreten. Alle Hypothesen von dem Mechanismus, wodurch die Accommodation vermittelt werden sollte, passen aber nur auf die gelegentliche. Daß beim Sehen unaufhörlich die Hornhaut oder Linse bald convexer bald flacher gemacht, oder diese bald dem Hintergrund des Auges genähert, bald davon entfernt würde, hätte man schwerlich zu behaupten gewagt.

Dies sahe schon Jurin ein. In seiner angeführten Abhandlung sagt er: Wenn man ein gedrucktes Blatt, worauf sich Schrift von drei- bis viererlei Größe befindet, in einer gewissen Entfernung vom Auge

*) De oculi mutationibus internis. p. 12.

hält, so sieht man alle Worte ohne Anstrengung deutlich. Rückt man das Blatt bis auf eine gewisse Weite vom Auge weg, oder nähert es demselben bis auf eine gewisse Gränze, so wird die kleine Schrift unleserlich, während die groſse noch lesbar bleibt. Kommen die gebrochenen Strahlen bei dem erstern Abstand vollkommen auf der Netzhaut zusammen, so divergiren oder convergiren sie vor dieser Haut bei der letztern Entfernung. Hieraus schließt Jurin, daß nicht zum bloß deutlichen Sehen, sondern nur zu dem, was er das vollkommen deutliche Sehen nennet, genaue Vereinigung der Strahlen auf dem Hintergrunde des Auges nothwendig ist. Diese Folgerung hat ihre völlige Richtigkeit: denn, wenn die gebrochenen Strahlen bei dem ersten Abstand vollkommen convergirten, und bei dem zweiten Abstand durch eine Accommodation ebenfalls vollkommen convergent gemacht würden, so müßte bei der zweiten Entfernung eben so gut wie bei der ersten nicht bloß die groſse Schrift, sondern auch die kleine wieder leserlich seyn. Jurin bot aber vergeblich allen seinen Scharfsinn auf, um diesen Schluss mit der gewöhnlichen Theorie des Sehens zu vereinigen. Mit den Sätzen, wovon er ausgeht, läßt sich nicht die Möglichkeit eines bloß deutlichen Sehens ohne Schärfe desselben in Uebereinstimmung bringen. Man kömmt damit nicht über die allmähliche Abnahme des Lichts im Bilde auf der Retina vom Centrum nach der Peripherie weg, die in jedem Falle statt findet, worin die gebrochenen Strahlen auf dem Hintergrunde des Auges nicht vollkommen concentrirt werden, und

womit Bestimmtheit der Umrisse des Bildes, also das, was Bedingung des deutlichen Sehens ist, nicht bestehen kann. Seine Sätze führen überdies auf einen Schluss, dem die Erfahrung widerspricht, nemlich den, dass die Fixsterne uns entweder alle von einem Halbschatten umgeben, oder alle von einerlei Grösse erscheinen müßten.

Alle Schwierigkeiten fallen weg, wenn man die Linse des Auges für das annimmt, was sie wirklich ist, für einen Körper, dessen Dichtigkeit vom Umfange nach dem Mittelpuncte zunimmt. Ich habe in meiner Schrift über die blättrige Textur der Crystalllinse u. s. w. bewiesen, dass dieser Körper die Strahlen innerhalb einer gewissen Gränze bei jeder Entfernung des Objects auf eine Art bricht, die der gewöhnlichen entgegengesetzt ist, und wobei keine Zerstreuung derselben am Rande des Bildes eintritt. Damit ist die Deutlichkeit des Sehens bei unveränderter Gestalt und brechender Kraft des Auges für jeden Abstand des Objects erklärt, wofür noch Beschränkung der Breite des Strahlenkegels, der vom strahlenden Punct auf die Hornhaut fällt, bis auf eine gewisse Gränze möglich ist. Die Beschränkung geschieht durch die Pupille. Diese ist dabei wirksam bis zur unendlichen Entfernung des Gegenstandes: denn sie kann sich bis dahin auf die entsprechende Art erweitern. Ihre Zusammenziehung hat aber eine gewisse Gränze. Sie kann deswegen bei einer gewissen Nähe des Objects, die in der Regel 4 bis 5 Zoll beträgt, die Breite des Strahlenkegels nicht mehr so weit, wie zum deutlichen Sehen nöthig ist, vermindern, und darum tritt in diesem

Falle, aber auch in keinem andern, wobei der Strahlenkegel noch Licht genug enthält, um einen hinreichenden Eindruck auf die Netzhaut zu machen, undeutliches Sehen ein. Zu der Beschränkung bedarf es nur Veränderungen der Pupille, die noch kleiner sind als die, welche wirklich statt finden. Indem der geschichtete Crystallkörper, in Verbindung mit den Zusammenziehungen und Erweiterungen der Pupille, ein deutliches Sehen bei den verschiedensten Entfernungen und bei einem stärkern und schwächern Grade der Beleuchtung vermittelt, bewirkt er aber auch für jede Entfernung ein relativ schärferes Sehen, als durch eine andere Einrichtung des Auges möglich zu machen wäre, und zwar dadurch, daß er den Unterschied zwischen den Focaldistanzen vermindert, die bei einer unendlichen Entfernung des Objects und bei dem kleinsten Abstand, den es haben kann, statt finden.

Eine Betrachtung der 1ten und 2ten Figur (Tab. I.) wird das Vorstehende noch deutlicher machen. In Fig. 1 ist FG der vordere Bogen einer vertical und der Länge nach durchschnittenen Linse, und AC deren verlängerte Axe. Aus den Puncten A, B, C fallen auf FG die Strahlenkegel AFG, BFG, CFG , und diese bilden, nach ihrer Brechung, auf der entgegengesetzten Seite des Bogens FG die Kegel aFG, bFG, cFG , von welchen aFG zu AFG , bFG zu BFG , cFG zu CFG gehört. In b befindet sich eine undurchsichtige Fläche MN , wodurch die convergirenden Strahlen aufgefangen werden. Vereinigen sich diese ohne Abweichung in den Brenn-

puncten a , b , c , so wird der Punct B , dessen Focus genau auf MN fällt, mit absoluter Schärfe gesehen werden; hingegen wird sich von C in hk , von A in rt ein ausgedehntes Bild entwerfen. Mit diesen Bildern hk und rt kann zwar nicht mehr scharfes, doch immer noch deutliches Sehen im Allgemeinen bestehen: denn beide werden von derselben Quantität Licht hervorgebracht, die von C und A ausgeht; dieses ist auf ihnen so vertheilt, dafs, so lange die Winkel FCO , FBO , FAO nicht über eine gewisse Gränze hinaus wachsen, ihr Rand nicht merklich weniger als ihr Mittelpunkt davon hat, also jener genau umschrieben ist, und die nehmliche Vertheilung bleibt, wenn auch das Licht nicht unmittelbar auf MN fällt, wie das des Strahlenkegels FcG , sondern vor dem Auffallen erst convergirt und dann divergirt, wie bei FaG der Fall ist. Das blos deutliche Sehen wird relativ schärfer werden, wenn die Focaldistanzen Oa , Ob , Oc für ein Anwachsen der Entfernung OA ins Unendliche und für den kleinsten Abstand OC , den das Object haben kann, immer in gewissen engen Gränzen bleiben, und wenn die Breite der sämtlichen Strahlenkegel durch eine Pupille möglichst verschmälert wird.

Diese Erfordernisse zum deutlichen und relativ scharfen Sehen hat die Strahlenbrechung, die durch eine geschichtete Linse hervorgebracht wird. Die letztere vereinigt die, von A , B , C ausgehenden Strahlen, wenn auch nicht vollkommen in a , b , c , doch ohne eine Ahweichung, die dem deutlichen Sehen Eintrag thut. Sie vermindert zugleich den

Unterschied $a c$ zwischen den Focaldistanzen $O a$, $O c$, die bei der größten und kleinsten Entfernung $O A$, $O C$ des Objects eintreten, in dem Grade, der zu relativer Schärfe des Sehens erforderlich ist. Die Iris, deren Durchmesser $H L$ und Pupille $q p$ ist, hat dabei die Function, die Weite der Pupille $q p$ so nach der Größe der Winkel $F A O$, $F C O$ einzurichten, daß die Winkel $F a G$, $F c G$ weder über die Gränze, wobei die Erleuchtung der Bilder $h k$, $r t$ schwächer wird, als sie für scharfe Umrisse seyn darf, noch über die, womit eine gewisse Kleinheit des Sehewinkels bestehen kann, hinaus steigen. Es ist klar, daß, wenn sich hierzu die Pupille für den Strahlenkegel $F A G$, der aus der größern Entfernung $O A$ kömmt, bis $q p$ verengert, ihr Durchmesser für den breitem und kürzern Kegel $F C G$ noch kleiner seyn muß.

Unfähig zur Erfüllung der obigen Bedingungen ist dagegen eine Linse von gleichförmig brechender Kraft. Man kann mehrere Linsen dieser Art so zusammensetzen, daß für eine einzige bestimmte Entfernung $B O$ die Strahlen ohne Abweichung in b zusammenkommen. Aber für jede andere Entfernung $A O$, $C O$ tritt Abweichung ein. Die Brechung geschieht durch eine solche Linse so, wie in Fig. 2 (Tab. I.) vorgestellt ist. Diejenigen Strahlen eines Puncts A , die mit der Axe $A f$ der brechenden Fläche $F G$ den größten Winkel $F A O$ machen, haben die kleinste Focaldistanz $O d$; die mittlern $A H$ gehen nach e , die innersten $A I$ nach f . Es giebt für die Kegel $F d G$, $H e H'$, $I f I'$ nur Einen Punct a der

Axe, worin sich auf einer undurchsichtigen Fläche MN ein Bild ohne grossen Halbschatten darstellen kann. Der Abstand Oa dieses Puncts a von FG ändert sich aber bei jeder Abänderung der Entfernung AO , und in jedem andern Punct e oder f ist auf dem Bilde hk die grössere Quantität der Strahlen um den Mittelpunkt concentrirt, hingegen der Rand nur von den äussersten, sehr divergirenden Strahlen AF , AG schwach erleuchtet. Eine Pupille kann den Halbschatten für e und f beschränken, aber nicht aufheben.

Wir wollen jetzt die Lehre, die ich aufgestellt habe, als blofse Hypothese betrachten und sie als solche gegen die abwägen, die zur Erklärung der Möglichkeit des Nahe- und Fernsehens Aenderungen in der Gestalt oder in den strahlenbrechenden Kräften des Auges annimmt. Diese mufs immer voraussetzen, dafs bei Einer gewissen Entfernung des Objects vom Auge die gebrochenen Strahlen ohne Abweichung auf der Netzhaut convergiren: denn sie mufs wenigstens einräumen, was sie ohne diese Voraussetzung nicht zugeben könnte, dafs es Eine Entfernung des Gegenstandes giebt, worin er scharf gesehen wird. Das Auge enthält aber keine solche Zusammensetzung von mehrern Linsen verschiedener Art, wodurch die Abweichung bei einer gewissen Entfernung gehoben wird, wie wir bei optischen Werkzeugen anwenden. Die vollkommene Convergenz der Strahlen, die in jenem Fall statt findet, läfst sich bei jeder Hypothese blos von dem blättrigen Bau des Crystallkörpers ableiten. Kann aber dieser eine solche Vereinigung

der Strahlen für einen gewissen Abstand des Objects bewirken, so ist es sehr wohl möglich, dafs er dasselbe für andere Entfernungen ebenfalls thut, und dafs er dabei auch den Unterschied zwischen den Focaldistanzen, die bei der grössten und kleinsten Entfernung des Objects eintreten, vermindert. Weiterer Voraussetzungen als dieser bedürfen wir aber nicht zur Erklärung aller, beim Nahe- und Fernsehen vorkommenden Umstände. Wäre also das, was ich gelehrt habe, auch nur Meinung, so würde diese doch vor jeder andern, die eine, in keiner Einrichtung des Auges genügend nachzuweisende, unaufhörliche Accommodation der Form oder brechenden Kräfte desselben zu Hülfe nimmt, den Vorzug der gröfsern Einfachheit haben.

Grade das ist eine Hauptsache bei meiner Theorie, dafs sie das deutliche Sehen in verschiedenen Entfernungen ohne die Voraussetzung einer solchen, nie als im Schlafe aufhörenden Veränderung der Gestalt und brechenden Kräfte des Auges erklärt. Gründe, die, im Falle sie richtig wären, nur eine gelegentliche Einrichtung dieses Organs für eine gewisse Entfernung beim eintretenden Bedürfnifs eines schärfern Sehens unter Umständen, worunter uns gewöhnlich blofse Deutlichkeit genügt, darthun würden, beweisen nichts gegen diese Theorie. Eine solche Accommodation könnte damit immerhin bestehen. Sie würde erfolgen, wenn wir das Vermögen besäfsen, die Pupille noch über den Grad hinaus, wobei deutliches Sehen statt findet, zu verengern. Sehen wir z. B. zwei Puncte in einer gewissen Entfernung unter einem äussern

Sehwinkel von 30 Secunden bei dem, diesem Abstand gewöhnlich angemessenen Durchmesser der Pupille nicht mehr als verschieden, so würden sie uns bei einer willkührlichen Verkleinerung dieses Durchmessers wieder als getrennt erscheinen können, indem hierdurch die Strahlenkegel, die von ihnen auf die Linse fallen, noch mehr verschmälert und damit auch ihre Bilder auf der Netzhaut, die vorher zusammengeflossen waren, verkleinert und wieder von einander geschieden werden würden. Aus Gründen, die das 3te Capitel der gegenwärtigen Schrift enthalten wird, kann ich aber ein solches Vermögen, die Schärfe des Gesichts zu erhöhen, nicht als allgemein vorhanden annehmen.

Wer meine Theorie widerlegen will, hat sie aus den Lehren der Optik zu bestreiten, worauf sie gebauet ist, und welche eben sowohl für das Auge als für das Telescop und Microscop, das Opernglas und die Camera obscura gelten. Man setzt ihnen aber nicht Gründe, die von optischen Gesetzen hergenommen sind, sondern bloße Behauptungen entgegen, wenn man sagt: „Meine Lehre vom Gange des Lichts „durch geschichtete Kugeln leide auf die Crystalllinse „keine Anwendung; hierin werde man durch mein „eigenes Geständnifs bestärkt, indem ich S. 67 meiner „Schrift über die blättrige Textur der Crystalllinse „zugebe, dafs die von mir berechneten Halbmesser „der Netzhautbilder 50 bis 60 mal gröfser sind, als „das Scharfsehen verlangt; es heisse in dieser Schrift „zwar weiter, dafs diese Differenz nicht eingetreten „seyn würde, wenn wir die Mittel besäfsen, jene „Halbmesser genauer zu berechnen; indefs sey, wenn

„einmal die Rechnung nicht übereinstimmt, auch die „Möglichkeit noch größerer Differenzen denkbar“ *). Zu der Annahme, ein optisches Gesetz könne im Auge aufgehoben seyn, konnten nur unrichtige oder falsch gedeutete Versuche führen, und Bedenkliches würde man in der Abweichung der von mir berechneten Halbmesser der Bilder auf der Netzhaut von denen, die das scharfe Sehen erfordert, nichts gefunden haben, wenn man erwogen hätte, daß meine Berechnungen in Zahlen nur die, aus optischen Gesetzen abgeleiteten Resultate erläutern, nicht aber für diese etwas beweisen sollten und konnten. Ich wählte hierzu für die Dimensionen und strahlenbrechenden Kräfte der Sehwerkzeuge des Menschen die Mittelzahlen, die sich aus der Vergleichung mehrerer, von mir und Andern untersuchter Augen verschiedener Individuen ergeben hatten. Daß sich aus solchen, gar nicht zusammengehörigen Theilen nimmer ein scharf sehendes Auge würde construiren lassen, wußte ich vorher. Ich dachte aber nicht, daß irgend Jemand in den Mängeln dieser Berechnungen einen Grund gegen meine Theorie würde finden können. Wer wird den Pythagorischen Lehrsatz damit bestreiten wollen, daß, wenn die drei Seiten eines rechtwinklichten Dreiecks roh ausgemessen sind, daß Quadrat der Hypothenuse den Quadraten der Catheten zusammengenommen nicht ganz gleich kömmt? Nun fehlte freilich noch Manches daran, daß meine Theorie so bewiesen war, wie dieser Lehrsatz sich beweisen

*) Volkmann a. a. O. S. 114.

läßt. Was ich aber in meiner angeführten Schrift noch nicht vermogte, bin ich jetzt im Stande zu leisten. Das folgende Capitel wird einen Beweis enthalten, gegen dessen Evidenz nichts zu erinnern seyn wird, dafs die Natur an dem Bau der Crystalllinse und der Umgebungen dieses Körpers, in Verbindung mit einer beweglichen Iris, die Mittel hat, eine so vollkommene Vereinigung der gebrochenen Strahlen in einem einzigen, bei keiner Veränderung der Entfernung des Objects sich verändernden Brennpunct zu bewirken, wie zum scharfen Sehen erforderlich ist.

Indefs auch so, wie ich meine Theorie in meiner vorigen Abhandlung vortrug, wird sie der, welcher selber prüfen kann, nicht so ungenügend finden, wie sie in der angeführten Schrift des Herrn Dr. Kohlrausch denen erscheinen mag, die, ohne selber untersuchen zu können, dem glauben, der das letzte Wort hat. Herr Dr. Kohlrausch hat sich die Widerlegung, aber mir auch die Vertheidigung meiner Lehren nicht schwer gemacht. Er legt meine Rechnungen und Formeln zum Grunde, und zieht daraus Schlüsse, die, wie er meinet, zum Theil meiner Theorie entgegenstehen, die aber in der That unrichtig sind. Erst räumt er die Richtigkeit des Satzes ein, der für diese grade der wichtigste ist, dafs ein blättriger Crystallkörper, dessen Schichten vom Umfange nach der Mitte an Dichtigkeit zunehmen, bei einerlei Entfernung $= p$ des, in seiner Axe liegenden, strahlenden Puncts und bei einer Veränderung des Winkels $= \varphi$, den die Strahlen dieses Puncts mit der Axe machen, die Abweichung der gebrochenen

Strahlen von einem gemeinschaftlichen Brennpunct, obgleich nicht ganz aufheben, doch soweit, als zum deutlichen Sehen erforderlich ist, vermindern kann. Dagegen glaubt er, für verschiedene Entfernungen p und einerlei Winkel φ werde der Unterschied zwischen den Focaldistanzen X nicht, wie ich behauptete, kleiner, sondern gröfser bei der Brechung durch einen blättrigen Crystallkörper als durch eine Kugel oder Linse, die in allen Theilen einerlei brechende Kraft hat. Der Beweis seiner Meinung ist folgender.

In meiner Abhandlung über die blättrige Textur der Crystalllinse u. s. w. (S. 22) habe ich gezeigt, dafs, wenn man die brechende Kraft einer Kugel $= m^v$ und den Halbmesser derselben $= a$ setzt, die Focaldistanz X für p und φ ist:

$$= \frac{p \sin. \varphi}{\sin. \left\{ 2 \text{ ang. sin. } \sqrt{1 - \frac{p^2 \sin. \varphi^2}{a^2 m^{2v}}} + 2 \text{ ang. sin. } \frac{p \sin. \varphi}{a} + \varphi \right\}}$$

Wenn hier m^v für eine unveränderliche Gröfse angenommen wird, so gilt diese Gleichung für eine gleichförmig brechende Kugel. Bei der geschichteten Kugel nimmt m^v in einem gewissen umgekehrten Verhältnifs mit $p \sin. \varphi$ ab und zu. Der Bruch $\frac{p \sin. \varphi}{a m^v}$

steigt also beim Wachsthum von $p \sin. \varphi$ und bei der Abnahme von m^v „verhältnifsmäfsig“, wie Kohlrausch sagt, mehr als er steigen würde, wenn m^v eine unveränderliche Gröfse wäre. Davon ist die Folge, dafs bei jenem Wachsthum die Verschiedenheiten von X im erstern Falle gröfser als im letztern werden, und mit diesem Schlufs glaubt Kohlrausch meinen Satz widerlegt zu haben. Er hat aber bei

diesem Einwurf unerklärt gelassen, was unter „verhältnißmäßig“ zu verstehen ist, und nicht bedacht, daß er, wenn dieser Punct nicht bestimmt ist, mit denselben Gründen, womit er hier streitet, auch hätte beweisen können, die geschichtete Kugel müsse bei einerlei p und verschiedenen Winkeln φ eine größere Abweichung als die ungeschichtete hervorbringen, wovon er doch das Gegentheil einräumt.

Die Wirkung einer geschichteten Kugel läßt sich mit der einer ungeschichteten nicht anders als unter der Voraussetzung vergleichen, daß die gleichförmig brechende Kraft der letztern die mittelste geometrische Proportionalgröße zwischen der größten und kleinsten Kraft der erstern ist. Geht man hiervon aus, so ist es leicht zu beweisen, daß die geschichtete Kugel bei verschiedenen Entfernungen p und einerlei Winkel φ eben so wohl, als bei einerlei p und verschiedenem φ mehr als die ungeschichtete die Abweichung vermindern müsse. Es sey die brechende Kraft überhaupt $= q$ und für die geschichtete Kugel das Maximum derselben, das bei $\sin. \varphi = 0$ eintritt, $= m^h$, das, bei $\sin. \varphi = 1$ eintretende Minimum $= m$. Für eine ungeschichtete Kugel, die man mit dieser ver-

gleichen will, muß also $q = m^{\frac{h+1}{2}}$ seyn. Nun ergibt sich aus der, in meiner Schrift über die blättrige Textur der Crystalllinse (S. 24) für die Focaldistanz X einer brechenden Kugel, deren Radius $= a$ ist, angeführten Gleichung, daß bei $\varphi = 0$ diese Ent-

fernung $X = \frac{-a}{2 \left\{ 1 - \frac{1}{q} \right\} - \frac{a}{p}}$ wird. Geht hier p in

$p = \infty$ über, so erhält man $X' = \frac{-a}{2 \left\{ 1 - \frac{1}{q} \right\} - a^2}$.

Folglich $X - X' = \frac{-a^2}{2 \left\{ 1 - \frac{1}{q} \right\} \left\{ 2p \left\{ 1 - \frac{1}{q} \right\} - a \right\}}$.

Wenn nun X und X' für die geschichtete Kugel gelten, also $q = m^h$ ist, und $X - X' = \Delta$ gesetzt

wird, so ist $\Delta = \frac{-a^2}{2 \left\{ 1 - \frac{1}{m^h} \right\} \left\{ 2p \left\{ 1 - \frac{1}{m^h} \right\} - a \right\}}$.

Beziehen sich hingegen X und X' auf die ungeschichtete Kugel für welche $q = m^{\frac{h+1}{2}}$ ist, und setzen wir für diese $X - X' = \delta$, so erhalten wir:

$\delta = \frac{-a^2}{2 \left\{ 1 - \frac{1}{m^{\frac{h+1}{2}}} \right\} \left\{ 2p \left\{ 1 - \frac{1}{m^{\frac{h+1}{2}}} \right\} - a \right\}}$.

Es ist aber $m^{\frac{h+1}{2}}$ kleiner als m^h , also Δ kleiner als δ . Bekömmt der Winkel φ eine endliche Gröfse und steigt derselbe, während p für X einen endlichen Werth behält und für X' unendlich groß bleibt, so verändert sich δ sehr, hingegen erleidet Δ wegen der geringen Abweichung, die bei der geschichteten Kugel für einerlei p und verschiedene Winkel φ statt findet, nur geringe Veränderungen, und da bei Untersuchungen über das Sehen in der Augenaxe immer nur kleine Winkel φ zu berücksichtigen sind, so ist hierbei Δ immer für kleiner als δ anzunehmen. Wir haben also das Gegentheil dessen bewiesen, was Kohlrausch beweisen wollte.

Ein anderer Punct meiner Theorie, der von diesem Schriftsteller bestritten wird, ist die Function der Pupille beim Sehen. Wenn in Fig. 3 (Tab. I.) FP ein Strahl ist, der auf den Bogen AN fällt und nach BK gebrochen wird, so ist nach unserer obigen Bezeichnung $MA = MB = a$, $MP = p$, der Winkel $BPM = \varphi$, die Brechung in B für eine geschichtete Kugel $= m'$ und $MK = X$. Es sey der Winkel $MBP = \gamma$, $BKP = 2\zeta$ und $BMC = \varepsilon$.

Bei dieser Bezeichnung ist $X = \frac{a \sin. \gamma}{\sin. (2\zeta + \gamma + \varepsilon)^*}$,

und $a \sin. \gamma = p \sin. \varphi$, $\sin. \zeta = \sqrt{1 - \frac{p^2 \sin. \varphi^2}{a^2 m'^2}}$,

$\varepsilon = \gamma + \varphi$. Ist $p \sin. \varphi$ eine beständige Gröfse, so sind eine solche auch γ und ζ . Wäre nun ε ebenfalls unveränderlich, so würde auch die Focaldistanz X ganz constant seyn. ε kann aber nicht zugleich mit $p \sin. \varphi$ zu einer beständigen Gröfse gemacht werden, wenn die einzelnen Factoren p und $\sin. \varphi$ des Products $p \sin. \varphi$ veränderlich sind: denn ist $p \sin. \varphi = \text{Const.}$ so fällt und wächst der Winkel φ und mit diesem auch ε beim Wachsen und Abnehmen der Entfernung p . Allein da ε und, wenn p gröfser als a ist, wie in den Fällen, worauf wir hier Rücksicht zu nehmen haben, immer angenommen werden kann, auch γ gröfser als φ ist, so haben ε und φ noch einen endlichen Werth, wenn man φ schon als verschwindend betrachten darf. Dies vorausgesetzt, so wird zwar, bei einem unveränderlichen Werthe von $p \sin. \varphi$, X keine ganz constante Gröfse

*) Ueber die blättrige Textur der Crystalllinse u. s. w. S. 32.

seyn, doch, so lange φ sehr klein bleibt, sich von einer solchen nicht weit entfernen. Von X hängt die Höhe des, auf die Linse fallenden Strahlenkegels ab. Die Basis dieses Conus kann durch die Ausdehnung und Verengerung der Pupille so erweitert und verschmälert werden, dafs für die äussersten Strahlen desselben $p \sin \varphi$ sich immer gleich bleibt, wenn die Pupille sich diesem Producte $p \sin. \varphi$ gemäß verändert. Bleibt aber die Höhe und Grundfläche des Strahlenkegels immer die nehmliche, so wird derselbe auf einem Hintergrunde der Linse, der einen festen Abstand von der hintern Fläche derselben hat, ein Bild erzeugen, dessen Durchmesser sich bei den verschiedenen Entfernungen des Objects wenig verändert, und welches bei den geringen Veränderungen, die es erleidet, doch immer einen bestimmten Umrifs behält, also deutlich gesehen wird, weil bei den Brechungen vermittelt eines geschichteten Crystallkörpers der Unterschied zwischen starker centraler und weit schwächerer peripherischer Erleuchtung nicht eintritt, den ein durchsichtiger Körper von gleichförmig brechender Kraft hervorbringt.

Gegen diese meine Erklärung wendet Kohlrausch ein: Es werde dabei die Wirkung der Pupille, die erforderlich ist, um das Product $p \sin. \varphi$ zu einer constanten Gröfse zu machen, dadurch wieder aufgehoben, dafs auch der Winkel s constant bleiben müsse, welches nur durch eine unveränderliche Weite der Pupille bewirkt werden könne. Freilich ist hier eine Gegenwirkung zweier Gröfsen, die sich nicht ganz ausgleichen läfst, da nur die eine dieser Gröfsen

zu einer beständigen gemacht werden kann. Es ist vielleicht für den Werth von X einerlei, ob man ε für constant und $p \sin. \varphi$ für veränderlich, oder das Umgekehrte annimmt. Allein die Deutlichkeit beim Sehen hängt nicht blos von der Länge der Focaldistanz X , sondern auch von der Quantität des gebrochenen Lichts ab. Der Strahlenkegel, der beim Abstände p ein Bild auf der Netzhaut erzeugt, muß für ein unendlich großes p mehr Strahlen enthalten und daher breiter seyn, als für das kleinste p , wobei noch deutliches Sehen möglich ist, weil er durch die Brechung im erstern Falle mehr Licht verliert als im letztern. Durch eine Pupille, die sich den Veränderungen des Products $p \sin. \varphi$ gemäß erweitert und verengert, wird dem doppelten Erforderniß abgeholfen, daß X möglichst constant bleibe und zugleich der Büschel gebrochener Strahlen möglichst viel Licht erhalte. Durch eine Pupille von unveränderlicher Weite würde blos dem erstern Bedürfniß abgeholfen werden.

Aber, fährt Kohlrausch fort, wenn sich die Pupille dem, für constant angenommenen Producte $p \sin. \varphi$ gemäß verändert, so kann man ja das Nelmliche, wozu ein geschichteter Crystallkörper verlangt wird, auch durch eine ungeschichtete Linse erreichen: denn für diese gilt ebenfalls die Gleichung

$$X = \frac{p \sin. \varphi}{(\sin. \alpha + \gamma + \varepsilon)}, \text{ und, wenn darin } p \sin. \varphi$$

eine beständige Gröfse ist, so wird auch sie keine andere veränderliche Gröfse als denselben Winkel ε enthalten, den es in der Gleichung für die geschichtete Linse giebt. Nein, eine Linse von gleichförmig

brechender Kraft wirkt darum noch nicht auf gleiche Art mit einer geschichteten, wenn dem Product $p \sin. \varphi$ für sie durch die Pupille ebenfalls ein constanter Werth ertheilt wird. Sie bricht die Strahlen, die zu einem und demselben Kegel gehören, auf eine solche Art, daß kein Bild ohne Halbschatten entstehen kann. Grade darauf kömmt es ja an, durch welches Mittel den nachtheiligen Wirkungen für das Sehen, die der veränderliche Werth von ε in jener Gleichung hat, abgeholfen werden kann, und grade dieses Mittel giebt die geschichtete Linse, indem sie bei einerlei p und verschiedenem φ die Abweichung der gebrochenen Strahlen zwar nicht ganz aufhebt, doch sehr vermindert, und diesen eine solche Richtung ertheilt, daß der unter einem größern Winkel einfallende Strahl nach seiner Brechung auch unter einem größern Winkel mit der Axe zusammentrifft.

Was sich mit Grunde gegen mich einwenden liefs, was aber von Kohlrausch nicht hervorgehoben ist, und was sich freilich nicht ohne tiefere Untersuchungen, worauf dieser nicht eingegangen ist, hätte beweisen lassen, ist dies, daß bei der Formel, die ich für die veränderliche strahlenbrechende Kraft einer geschichteten Kugel angegeben habe, die verschiedene Entfernung des strahlenden Puncts vielleicht noch eine größere Verschiedenheit der Focaldistanz nach sich zieht, als mit der Art von Schärfe des Sehens, die ich die relative genannt habe, bestehen kann. Durch die Verbesserungen meiner Theorie, die ich im folgenden Capitel mittheilen werde, wird aber dieser Einwurf gehoben seyn.

2.

Fortgesetzte Untersuchungen

über

die blättrige Textur der Crystalllinse des Auges, als Grund des Vermögens, einerlei Gegenstand in verschiedener Entfernung deutlich zu sehen.

1. Wenn sich ein Medium construiren läßt, dessen Oberfläche nach einer gewissen Curve gekrümmt ist, und dessen brechende Kraft sowohl mit dem Abstände des Objects von einem gewissen Punct der Axe dieser Curve, als mit dem Winkel, den der einfallende Strahl mit der Axe macht, in einem gewissen Verhältniß steht, und sich nach der Verschiedenheit des Abstands und Winkels ändert, so werden alle, in jenes Medium dringende Strahlen nach einem einzigen, unveränderlichen Brennpunct hin gebrochen.

Beweis. In Fig. 3 (Tab. I.) ist AN irgend eine Curve, die auf ihrer concaven Seite ein brechendes Medium begränzt; AP deren Axe; FP ein Strahl, der aus der Entfernung AP in B auf AN fällt und nach der Richtung BK gebrochen wird; BM die auf AN in B stehende Normallinie; BC eine von B auf die Axe AP senkrecht gezogene Ordinate. Es sey die brechende Kraft in $B = \mu$, der Winkel

$BPM = \varphi$, $BMA = \lambda$, $MBK = \gamma$, $MP = p$,
 $MK = C$, $MB = a$. Bei dieser Bezeichnung wird

$$C = \frac{a \sin. \gamma}{\sin. (\lambda - \gamma)} = \frac{a \sin. \gamma}{\sin. \lambda \cos. \gamma - \cos. \lambda \sin. \gamma}.$$

Es ist aber $\sin. \gamma = \frac{p \sin. \varphi}{a \mu}$ und $\cos. \gamma =$

$$\sqrt{\left\{1 - \frac{p^2 \sin. \varphi^2}{a^2 \mu^2}\right\}}. \text{ Folglich wird}$$

$$C = \frac{p \sin. \varphi}{\mu \sin. \lambda \sqrt{\left\{1 - \frac{p^2 \sin. \varphi^2}{a^2 \mu^2}\right\}} - \cos. \lambda \frac{p \sin. \varphi}{a}}.$$

und hieraus

$$\mu^2 = \left\{ \frac{(a + C \cos. \lambda)^2}{(a - C \sin. \lambda)^2} + \frac{1}{a^2} \right\} p^2 \sin. \varphi^2$$

$$= \frac{a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2}{(a - C \sin. \lambda)^2} p^2 \sin. \varphi^2.$$

$$\text{Also } \mu = \frac{\sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}}{a - C \sin. \lambda} p \sin. \varphi.$$

Es ist aber M in Fig. 3 kein fester Punct, wenn nicht AM eine unveränderliche Gröfse ist. Soll also der Brennpunct für alle Strahlen einerlei bleiben, so darf sich ausser AK auch AM nicht verändern, oder es muß, wenn α eine constante Gröfse bedeutet, $MK + AM = \alpha$ seyn. Dies kann statt finden, wenn entweder jede dieser Linien für sich beständig ist, oder wenn beim Wachsen und Abnehmen der einen die andere um eben so viel fällt als die andere steigt, und umgekehrt. Das erste geschieht nur beim

Kreise. Das Zweite kann nicht durch die brechende Kraft μ bewirkt werden, die auf $A M$ keinen Einfluss hat, sondern nur Folge einer Beschaffenheit der Curve $A B N$ seyn, wobei die Abscisse $A C$ mit der Subnormallinie $C M$ in einem umgekehrten arithmetischen Verhältniß steht. Diese Beschaffenheit hat ebenfalls keine andere Linie als der Cirkel. Wir nehmen daher $A N$ für einen Kreisbogen an, dessen Halbmesser $A M = a$ ist.

Ein kugelförmiger, durchsichtiger Körper, welcher die obige, von p , φ und einer beständigen Gröfse C abhängige, und sich dem jedesmaligen Verhältniß dieser Factoren anpassende, brechende Kraft μ besitzt, wird alle Strahlen, von welchem Punct sie kommen und wie sie gegen die Axe geneigt seyn mögen, in einem Focus vereinigen, dessen Abstand vom Mittelpunkt der Kugel immer unverändert $= C$ bleibt.

In der obigen Formel für μ zeigt sich diese Kraft als zusammengesetzt aus zwei andern, die in gewissem Grade von einander unabhängig sind. Die eine wird durch a , C und λ , die andere durch p und φ bestimmt. Die erstere kann sich verändern, ohne dafs die letztere mit geändert wird, wenn das Product $p \sin. \varphi$ bei den Veränderungen der einzelnen Factoren desselben immer einerlei Gröfse behält.

2. Es sey in Fig. 4 (Tab. I) $A N X$ die Hälfte des grössten Kreises einer Kugel, die M zum Mittelpunkt, $A X$ zur Axe, N zum Pol hat und aus den concentrischen Schichten S , 1, 2, 3 u. s. w. besteht. Die äusserste Schichte S habe eine brechende Kraft, welche vom Endpunct A der Axe nach dem Pol N

in dem Verhältniß zunimmt, dafs, wenn diese Kraft $= Q$ und $Ma = MD = a$, der Winkel $BMA = \lambda$, irgend eine beständige Gröfse $= C$ gesetzt wird, $Q = \frac{a C \sin. \lambda}{\sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}}$ ist. Eine Schichte von einer solchen brechenden Kraft kann zwar schwerlich die Kunst, doch wohl die Natur hervorbringen. Die folgenden Schichten 1, 2, 3 u. s. w. seyen sehr dünn, doch von gleicher Dicke, und ihre brechende Kraft nehme von der äussersten 1 bis zur innersten 8 in einer geometrischen Progression zu, die mit m anfängt und m zum Exponenten hat. Diese Kraft ist also in der Schichte 1 $= m$, in 2 $= m^2$, in 3 $= m^3$ u. s. w. Ein Strahl RP , der auf eine solche Kugel aus der Entfernung $MP = p$ und unter dem Winkel $RPM = \varphi$ fällt, und welcher, wenn er gleich an der Oberfläche der Kugel durch die Kraft μ des 1ten Sphen und dann nicht weiter gebrochen würde, die Richtung BU hätte, geht jetzt in einer gebrochenen Linie $BDEFGHU$ durch die Kugel, und die Summe der Kräfte, wodurch er fortwährend von dem graden Wege abgelenkt wird, kömmt in irgend einem Punct H seiner Bahn mit der Kraft μ überein.

Beweis. Von den beiden Kräften Q und $p \sin. \varphi$, woraus μ zusammengesetzt ist, wirkt die erste Q in der Schichte S unabhängig von der zweiten $p \sin. \varphi$. Durch jene wird der Strahl RP nach der Richtung BD unter einem Winkel MBD , dessen Sinus $= \frac{p \sin. \varphi}{a Q}$

ist, gebrochen. Von jetzt an geht RP in jeder der folgenden Schichten 1, 2, 3 u. s. w. nach einer andern Richtung DE , EF u. s. w. fort. Unser Satz wird bewiesen seyn, wenn sich zeigen läßt, daß die vereinigten brechenden Kräfte einer gewissen Zahl dieser Schichten $= p \sin. \varphi$ sind.

Man ziehe nach D , E , F u. s. w. die Halbmesser MD , ME , MF u. s. w. und setze die Zahl der Schichten von 1 an, ohne Rücksicht auf die absolute Gröfse des Halbmessers der Kugel, $= h$. In den Dreiecken MBD , MDE , MEF u. s. w. ist nun

$$\sin. MBD = \frac{p \sin. \varphi}{MB \cdot Q}, \sin. MDE = \frac{p \sin. \varphi}{a \cdot m \cdot Q},$$

$$\sin. MEF = \frac{p \sin. \varphi}{ME \cdot m^2 \cdot Q} \text{ u. s. w. Sind die Schichten}$$

1, 2, 3 u. s. w. alle gleich dick, so verhält sich $h : 1 = a : ab$, $h : 2 = a : ac$ u. s. w. Mithin

$$\text{ist } Mb = ME = a - \frac{a}{h} = \frac{a(h - 1)}{h},$$

$$Mc = MF = \frac{a(h - 2)}{h} \text{ u. s. w. folglich } \sin.$$

$$MEF = \frac{h p \sin. \varphi}{a(h - 1) m Q}, \sin. MFG = \frac{h p \sin. \varphi}{a(h - 2) m^2 Q}$$

u. s. w. Ueberhaupt, wenn irgend eine Schichte auf ihrer äussern Seite $\frac{a(h - v)}{h}$ zum Halbmesser

hat, so ist v der Exponent der brechenden Kraft m

dieser Schichte, und setzen wir den Brechungswinkel der letztern $= \sigma$, so wird $\sin. \sigma = \frac{h p \sin. \varphi}{a (h - v) m' Q} \cdot *)$

m wird durch die brechende Kraft aller Schichten zusammengenommen und durch die Zahl der Schichten bestimmt.**) Je gröfser diese Zahl ist, desto kleiner wird m . Ist m sehr klein, und dafür nehmen wir diese Kraft an, so fällt $\frac{a (h - v)}{h}$ beim Wachsthum von v in einem gröfsern Verhältnifs als m' steigt. Es wächst also immerfort $\sin. \sigma$, so dafs zuletzt σ ein rechter Winkel und $\sin. \sigma = 1$ wird. Hiermit

*) Wenn man in der Formel $\frac{a (h - v)}{h}$ für den Halbmesser der, zum Winkel σ gehörigen Schichte, $a = h$ setzt, also die Gröfse des Halbmessers bloß nach der Zahl der Schichten bestimmt, deren Breiten in ihm enthalten sind, so verwandelt sich jene Formel in die kürzere $a - v$, deren ich mich in meiner Abhandlung über die blättrige Textur der Crystalllinse bedient habe. Unrichtig ist diese nicht, wie Kohlrausch zu glauben scheint. Es ist nur dies dabei zu beachten, dafs bei der Anwendung der Gleichungen, worin sie vorkömmt, auf benannte Zahlen, p ebenfalls erst durch die Zahl der Schichten ausgedrückt werden mufs, und dafs die letzten Resultate der Rechnungen wieder auf das Maafs von a und p in Linien, Zollen u. s. w. zu reduciren sind.

**) Man kann die gesammte brechende Kraft der Schichten 1, 2, 3, u. s. w. entweder als eine Einheit betrachten, wovon m ein Bruch ist, oder ihr Verhältnifs zur brechenden Kraft des Mediums, woraus die Strahlen kommen, gleich mit in Anschlag bringen. Bei unsern jetzigen Untersuchungen ist das Letztere nicht thunlich, weil das Medium, woraus die Strahlen in die Schichten 1, 2, 3, u. s. w. gelangen, die Schichte S ist, die eine veränderliche brechende Kraft hat. Wenn aber diese Kraft in jenem Medium gleichförmig und das Verhältnifs der gesammten brechenden Kraft der Schichten 1, 2, 3 u. s. w. zu ihr $= n : 1$ ist, so wird m und so werden alle Potenzen

erreicht $\sin. \sigma$ die Gränze seines Steigens. Diese tritt noch früher ein, wenn die Schichten nicht, wie wir, um die Untersuchung zu vereinfachen, vorausgesetzt haben, gleich dick sind, sondern vom Umfange nach der Mitte des brechenden Körpers an Dicke abnehmen. Auf dieser Gränze geht der Strahl HU bei I in der nehmlichen Schichte, die er zuletzt erreichte, zu denen über, die ihm die concave Seite zukehren, und nun nehmen $\sin. \sigma$ und zugleich v wieder in demselben Verhältniß ab, worin sie vorher gestiegen waren. Indem $\sin. \sigma$ dort $= 1$ wird, bleibt v der Exponent von m . Der Halbmesser der erreichten

$$\text{Schichte aber wird hier} = \frac{a (h - v + 1)}{h}$$

$$\text{Also ist hier } 1 = \frac{h p \sin. \varphi}{a (h - v + 1) m^v Q}$$

$$\text{und } \frac{h p \sin. \varphi}{a (h - v + 1)} = m^v Q. \text{ Wächst jetzt } v \text{ bis}$$

$$h \text{ an, so wird } p \sin. \varphi = \frac{a m^h Q}{h}. \text{ Dies kann nur}$$

von m im ersten Falle mit n multiplicirt werden müssen. Im zweiten Falle ist n schon mit in m enthalten, und man hat in der Rechnung auf n keine Rücksicht zu nehmen. In meiner Abhandlung über die blättrige Textur der Crystalllinse habe ich anfangs die erste Bezeichnung gebraucht, nachher aber dafür die zweite kürzere gewählt, und den Grund der Aenderung nur kurz angedeutet. Ich glaubte nicht, daß es einer umständlichen Erklärung hierüber bedürfen würde. Herrn Dr. Kohlrausch ist indess der Grund der Elimination des n so räthselhaft gewesen, daß er fast eine ganze Seite auf Betrachtungen darüber verwendet, ohne ihn ausfindig zu machen. Nach dem Vorstehenden wird hoffentlich Niemand weiter Anstofs daran nehmen.

in dem Falle geschehen, wenn φ unendlich klein wird. Dann aber ist die Summe der sämtlichen brechenden Kräfte von $m Q$ bis $m^h Q$ um so viel größer als $p \sin \varphi$, daß sie dies auch noch bis zu einer gewissen Gränze bei einer endlichen Gröfse des Winkels φ seyn muß. Innerhalb dieser Gränze giebt es also für jedes p und φ eine Schichte, worin die Summe aller brechenden Kräfte, die auf den Strahl gewirkt haben, $= p \sin. \varphi$ ist. Diese Summe ist die, in Q multiplicirte Summe einer geometrischen Progression, wovon das erste Glied m , das letzte irgend eine Potenz m^x von m und der Exponent ebenfalls m ist. Nennen wir dieselbe S , so ist

$$S. Q = p \sin. \varphi \text{ und } S = \frac{p \sin. \varphi}{Q} =$$

$$\frac{\sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}}{a C \sin. \lambda} p \sin. \varphi = \mu.$$

Und dies war der zu beweisende Satz. Da übrigens

$$S = \frac{m^x - 1}{m - 1} m, \text{ also } p \sin. \varphi = Q \frac{m^x - 1}{m - 1} \text{ ist,}$$

$$\text{so findet sich hieraus } m^x = \left\{ \frac{(m - 1) p \sin. \varphi}{m Q} + 1 \right\} m^2$$

$$\text{und } x = \frac{\log. \left\{ \frac{(m - 1) p \sin. \varphi}{m Q} + 1 \right\}}{\log. m} + 2.$$

3. Obgleich nun aber die Frage, ob und wie sich ein durchsichtiger Körper construiren läßt, dessen brechende Kraft für jede Entfernung p und jeden

Winkel φ verschieden ist, und immer zu beiden in ein solches Verhältniß tritt, daß die Focaldistanz C eine unveränderliche Gröfse behält? hiermit im Allgemeinen beantwortet ist, so entsteht doch bei der Anwendung des gefundenen Resultats die Schwierigkeit, daß entweder der Strahl in einem Medium von gleicher brechender Kraft mit der Schichte, worin m den Exponenten x hat, bis zur Axe des brechenden Mediums fortgehen muß, wenn C unveränderlich bleiben soll; oder daß der Abweichung desselben von einem einzigen, festen Brennpunct, welche durch den Uebergang desselben in ein anderes Medium von homogener brechender Kraft verursacht werden würde, noch wieder durch ein anderes Mittel abgeholfen seyn muß. Das Erstere läßt sich nicht möglich machen. Ein Mittel der letztern Art aber giebt es allerdings. Dieses ist dem vorigen ähnlich, nur in der Wirkung entgegengesetzt. Wenn ein Strahl FP (Tab. I. Fig. 5) aus einem dichteren Medium in ein dünneres übergeht, und das letztere durch die Curve AN so begränzt ist, daß diese dem strahlenden Punct F die concave Seite zukehrt; wenn ferner die brechende Kraft des dichtern Mediums in dem Punct $B = u$, die Entfernung MP des Puncts P von dem Endpunct M der Normallinie $MB = E$, diese Linie $MB = b$, der Winkel $BPM = \Psi$, $BMA = \Pi$ und die Focaldistanz MK des nach K gebrochenen Strahls $BK = A$ ist, so wird A eine beständige

Gröfse bei der Voraussetzung seyn, dafs

$$u = \frac{A b \sin. \Pi}{\sqrt{(b^2 + 2 A b \cos. \Pi + A^2) E \sin. \Psi}} \text{ ist.}$$

Beweis. Diese Formel, die entgegengesetzte von der des 1ten §, findet sich auf demselben Wege, worauf wir die dortige fanden. Im Dreieck M B K

$$\text{ist } M K (= A) = \frac{M B (= b). \sin. D B K}{\sin. M K B}.$$

$$\text{Aber } \sin. D B K = u, \sin. D B P = \frac{u. E \sin. \Psi}{b}$$

$$\text{und } \sin. M K B =$$

$$\sin. \{D B K - B M K (= \Pi)\} = \frac{u. E \sin. \Psi \cos. \Pi}{b}$$

$$= \sqrt{\left\{1 - \frac{u^2 E^2 \sin. \Psi^2}{b^2}\right\}} \sin. \Pi. \text{ Also}$$

$$A = \frac{u E \sin. \Psi}{\frac{u E \sin. \Psi \cos. \Psi}{b} - \sqrt{\left\{1 - \frac{u^2 E^2 \sin. \Psi^2}{b^2}\right\}} \sin. \Pi}$$

woraus sich ergibt

$$u = \frac{A b \sin. \Pi}{\sqrt{(b^2 + 2 A b \cos. \Pi + A^2) E \sin. \Psi}}$$

4. Eine solche veränderliche, brechende Kraft u besitzt ein durchsichtiger, auf der Seite des Eintritts des Strahls $R P$ (Tab. I. Fig. 6) nach einer gewissen Linie $V Z$ abgeschnittener Körper $V Z X$, welcher aus kreis-

förmigen, concentrischen Schichten 6', 5', 4' u. s. w. besteht, deren brechende Kraft von 6' bis zur vorletzten Schichte 1' nach der nehmlichen geometrischen Progression abnimmt, nach welcher dieselbe in einem Körper der vorigen Art (§. 2) zunahm, und in dessen äussersten Schichte T diese Kraft in einem solchen Verhältniss zu jedem Winkel $BMP (= \Pi)$ am gemeinschaftlichen Mittelpunkt M der Schichten, zum Radius ($= b$) der äussersten Schichte T und zu einer beständigen Gröfse A steht, dafs, jene Kraft $= q$ gesetzt, immer

$$q = \frac{\sqrt{(b^2 + 2 A b \cos. \Pi + A^2)}}{A b \sin. \Pi} \text{ ist.}$$

Beweis. Wenn die brechende Kraft in irgend einer Schichte $z = \frac{1}{m^z}$ ist, so wird die Progression derselben bis zur Schichte 1 folgende seyn: $\frac{1}{m^z}$,

$$\frac{1}{m^{z-1}}, \frac{1}{m^{z-2}}, \dots, \frac{1}{m^2}, \frac{1}{m^1}, \text{ oder } m^{-z}, m^{-z+1},$$

$m^{-z+2}, \dots, m^{-2}, m^{-1}$. Der Beweis ist nun für den gegenwärtigen brechenden Körper derselbe wie für den vorigen, dafs $m^{-z} + m^{-z+1}, + m^{-z+2}$

$\dots + m^{-2} + m^{-1} = \frac{q}{C \sin. \Psi}$ und die ganze brechende Kraft

$$= \frac{A b \sin. \Pi}{\sqrt{(b^2 + 2 A b \cos. \Pi + A^2)} E \sin. \Psi} = u \text{ wird,}$$

wenn der Winkel $R P M (= \Psi)$ eine gewisse Gröfse nicht überschreitet, und wenn

$$Z = \frac{\log. \left\{ \frac{\left(\frac{1}{m} - 1\right)}{\frac{1}{m} C \sin. \Psi} + 1 \right\}}{\log. m} + 2 = \frac{\log. \left\{ \frac{(1-m)}{C \sin. \Psi} + 1 \right\}}{\log. m} + 2$$

ist (§. 2). Es ist hierbei aber eben so Bedingung der Unveränderlichkeit des Brennpuncts, daß das Medium, aus welchem der Strahl auf irgend eine Schichte fällt, mit dieser einerlei brechende Kraft hat, wie es im vorigen Fall Bedingung derselben Unveränderlichkeit war, daß der Strahl beim Austritt aus dem brechenden Körper in ein Medium von einerlei brechenden Kraft mit der letzten, von ihm erreichten Schichte übergehe.

5. Man nehme jetzt an, aus einem solchen kugelförmigen Körper, wie die 4te Figur (Tab. I) vorstellt, sey der Theil $A Z V$ so ausgeschnitten, daß die Linie $V Z$ die Gränze bildet, auf welcher die Potenz m^x den Werth erhält, bei welcher $m + m^2$

$$\dots + m^x = \frac{p \sin. \varphi}{Q} \text{ wird. Man setze ferner, nach}$$

eben dieser Linie sey der brechende Körper der 6ten Figur auf der Seite $V Z$ geformt, und die brechende Kraft jeder Schichte $T, 1', 2', 3'$ u. s. w. des letztern sey einerlei mit derselben Kraft jeder analogen Schichte $S, 1, 2, 3$ u. s. w. des erstern. Werden nun beide Körper mit den Ausschnittsflächen $V Z$ so an einander gefügt, daß darauf die analogen Schichten zusammenstoßen, so entsteht der linsen-

förmige Körper der 7ten Figur (Tab. I). Eine solche Linse besitzt die Kraft, jeden, aus einem dünnern Medium kommenden Strahl RD , der auf ihre vordere Fläche AZ fällt, so zu brechen, daß wenn derselbe auf ihrer hintern Seite ZX wieder in ein dünneres Medium nach der Richtung HK übergeht, die Entfernung NK des Puncts K vom Mittelpunkt N der hintern Hälfte ZVX eine unveränderliche Gröfse hat, vorausgesetzt, daß der Winkel, den der einfallende Strahl RD mit der Axe AX macht, eine gewisse Gröfse nicht überschreitet.

Beweis. Wenn der Strahl RD von D bis zum Punct B der Linie VZ die gebrochene Linie DB beschrieben hat, in B nach LB gerichtet ist, und nun ohne weitere Ablenkung von seinem Wege in einem Medium fortgeht, welches mit der letzten Schichte, die er bei B in AZV erreichte, einerlei brechende Kraft hat, so wird er die verlängerte Axe AX in einem Punct U schneiden, der für alle Strahlen, aus welcher Entfernung und unter welchem Winkel sie auf AZ fallen mögen, von dem Mittelpunkt M der in AVZ enthaltenen Schichten die unveränderliche Entfernung $MU = C$ hat (§. 1. 2.). Nach seinem Uebergang aus der vordern Hälfte AVZ in die hintere ZVX der Linse ändert sich sein Weg. Da er aber bei B aus einem Medium in eine Schichte der Hälfte ZVX tritt, welches mit dieser Schichte einerlei brechende Kraft hat, so findet die Bedingung statt, unter welcher er durch ZVX ebenfalls nach

einem unveränderlichen Punct K hingelenkt wird, dessen Entfernung N K vom Centrum N dieser Hälfte $Z V X = A$ ist. (§. 3. 4.)

6. Aus den gefundenen Formeln ergibt sich die ganze brechende Kraft einer solchen Linse, wie im vorigen § construiert wurde. In Fig. 8 (Tab. I) ist A Z X der Umriss der obern Hälfte eines solchen Körpers, M der Mittelpunkt seiner vordern Fläche A Z, N das Centrum seiner hintern Fläche Z X, F P der einfallende, B K der von A Z, D E der von Z X gebrochene Strahl, M B ein zu A Z, N D ein zu Z X gehöriger Halbmesser. Die Entfernung N M beider Mittelpuncte N und M von einander sey $= f$ und die ganze brechende Kraft der Linse $A Z X = N$. Für die übrigen, hier vorkommenden Gröſſen werden die bisher gebrauchten Buchstaben gelten. Was wir im 3ten § mit E bezeichneten, ist hier $N K = C + f$, und was dort Ψ war, ist hier der Winkel B K E,

dessen Sinus $= \frac{B M. \sin. M B K}{M K} = \frac{p \sin. \varphi}{\mu C}$ ist. Also wird

$$u = \frac{A C b \mu \sin. \Pi}{\sqrt{(b^2 + 2 A b \cos. \Pi + A^2) (C + f) p \sin. \varphi}}$$

$$\text{und } \frac{\mu}{u} = N = \frac{\sqrt{(b^2 + 2 A b \cos. \Pi + A^2) (C + f)}}{A b \sin. \Pi} \cdot \frac{p \sin. \varphi}{C}$$

Der Sinus und Cosinus von Π dieser Gleichung wird durch den Winkel B M A ($= \lambda$) und durch beständige Gröſſen bestimmt. Es ist nämlich $\sin. \Pi = \sin. B D N$, $\cos. K = \cos. B D N \sin. K$,

$$\sin. K = \frac{p \sin. \varphi}{C \mu} \text{ und } \sin. B D N = \sin. N D K \\ = \frac{(C + f) p \sin. \varphi}{b c \mu}. \text{ Setzen wir, wie oben (§. 2),}$$

$$\mu = Q p \sin. \varphi, \text{ so wird } \sin. K = \frac{1}{C Q} \text{ und}$$

$$\sin. B D N = \frac{C + f}{b C Q}. \text{ Hieraus findet sich}$$

$$\sin. \Pi = \frac{C + f}{b c Q} \sqrt{1 - \frac{1}{(C Q)^2}} - \frac{1}{C Q} \sqrt{1 - \frac{(C + f)^2}{(b C Q)^2}}$$

$$\cos. \Pi = \sqrt{1 - \frac{1}{(C Q)^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{(C + f)^2}{(b C Q)^2}} + \frac{C + f}{b C^2 Q^2}.$$

Nach diesen Gleichungen brauchen die beiden Hälften der Linse nicht einen Umfang von einerlei Halbmesser zu haben, um alle einfallende Strahlen in einerlei Focus zu vereinigen. Bedingung hierzu ist nur, dafs die gleichartigen Schichten beider Hälften der Linse in einander übergehen und von gleicher Dicke sind. Es kann aber der Halbmesser b gröfser oder kleiner als a seyn; es können selbst in jeder Hälfte die Schichten eine ungleiche Dicke haben: die Focaldistanz A wird doch dabei für jeden Werth von $p \sin. \varphi$ eine constante Gröfse bleiben; nur wird sie sich nach der verschiedenen Länge der Halbmesser a und b ändern.

Es erhellet ferner, dafs die nehmliche Wirkung, welche die ganze Linse $A Z X$ der 7ten Figur hat, auch blos durch die hintere Hälfte $V Z X$ derselben

für jeden Winkel φ , dessen Entfernung p vom Mittelpunkt des Bogens $V Z X$ auf der hintern Seite der Linse liegt, hervorgebracht werden kann, wenn diese Entfernung in $\frac{(C + f) p}{C}$ umgeändert wird.

Die brechende Kraft ist dann für den Strahl ebenso $= N$, wie sie bei einer Entfernung p seyn würde, wenn die ganze Linse $A Z X$ auf ihn wirkte.

Auch die vordere Hälfte $A V Z$ giebt allein dasselbe Resultat, wie die ganze Linse, wenn der innere Umfang ihrer äussersten Schichte einen Halbmesser $= b$ hat, die brechende Kraft ihrer äussersten Schichte

nach der Formel
$$\frac{A b \sin. II}{\sqrt{(b^2 + 2 A b \cos. II + A^2)}}$$

eingerrichtet ist, und der Strahl $P F$ aus einer Entfernung $M P$ kömmt, die auf der vordern Seite der

Linse liegt und $= \frac{(C + f) p}{C}$ ist. Bei dieser

Entfernung ist $F M P (= II) = G F M - P$, und die brechende Kraft wird wieder, wie im vorigen Falle, $= N$.

Die vordere und hintere Hälfte der Linse wirkt also analog der ganzen Linse, und die Gesetze, nach welchen die Brechung durch jene geschieht, gelten auch für diese.

7. Es ist jetzt noch ein wichtiger Punct zu untersuchen übrig: die Beschaffenheit der Curve $Z V$ (Fig. 7), nach welcher die beiden Hälften der Linse ausgeschnitten seyn müssen, wenn in allen Schichten

der vordern Hälfte $m + m^2 \dots + m^x = \frac{p \sin. \varphi}{Q}$,

und in allen der hintern Hälfte $m^{-1} + m^{-2} \dots$

$+ m^{-x} = \frac{q}{C \sin. \psi}$ seyn soll. Eine Gleichung für

diese krumme Linie findet sich aus Fig. 9 (Tab. 1), worin A Z V die vordere Hälfte der Linse der 7ten Figur, V Z die erwähnte Curve, B ein Punkt in derselben, zu welchem der Strahl R D B geht, B U die Richtung, worin dieser Strahl von B aus seinen Weg nach der Axe A U der Linse ungebrochen fortsetzt, M B ein Radius der Schichte, in welcher B liegt, B O eine rechtwinklichte Ordinate der Curve V Z, und der Mittelpunkt M der Schichten von A Z V der Anfangspunkt der Abscissen ist. Es sey die Abscisse M O = z, die Ordinate O B = y, und die übrige Bezeichnung wie im Vorigen. Es ist nun

$$y = \frac{O U \sin. U}{\cos. U}, \quad O U = M N - M O = C - z,$$

$$\sin. U = \frac{p \sin. \varphi}{C Q m^x}, \quad \cos. U = \sqrt{1 - \left\{ \frac{p \sin. \varphi}{C Q m^x} \right\}^2}.$$

$$\text{Also } y = \frac{(C - z) p \sin. \varphi}{\sqrt{(C^2 Q^2 m^{2x} - p^2 \sin. \varphi^2)}}. \quad \text{Es ist}$$

$$\text{ferner } m^x = \left\{ \frac{(m - 1) p \sin. \varphi}{m Q} + 1 \right\} m^2. \quad \text{Folglich}$$

$$Q m^x = \left\{ \frac{(m - 1) p \sin. \varphi}{m} + Q \right\} m^2 = \left\{ \frac{(m - 1) p \sin. \varphi}{m} + \right.$$

$$\left. \frac{a C \sin. \lambda}{\sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}} \right\} m^2. \quad \text{Setzt man nun noch}$$

$$\frac{p \sin. \varphi}{a} = \sin. \Gamma, \text{ so wird, da } \lambda = \Gamma + \varphi \text{ ist,}$$

$$y^2 = \frac{(C - z)^2 \sin. \Gamma^2}{\frac{C^2 m^4}{a^2} \left\{ \frac{(m-1) \sin. \Gamma}{m} + \frac{a C \sin. (\Gamma + \varphi)}{\sqrt{(a^2 + 2aC \cos. (\Gamma + \varphi) + C^2)}} \right\}^2 - \sin. \Gamma^2}$$

Diese Gleichung enthält ansser der Abcisse und Ordinate noch zwei andere veränderliche Gröfsen, Γ und φ . Sie gilt also nicht für eine krumme Linie von regelmässiger, einfacher Krümmung. Man kann daher die Linse der 7ten Figur nicht unbedingt für jede Entfernung p und für alle Winkel φ so einrichten, dafs die gebrochenen Strahlen ohne alle Abweichung in K vereinigt werden. Die Vereinigung ist jedoch bei einer Kleinheit des Winkels λ möglich, wobei $\sin. \lambda = \lambda$ und $\cos. \lambda = 1$ gesetzt werden kann. Da $\varphi = \lambda - \Gamma$ ist, so darf man in diesem Fall φ für $= 0$ und λ für $= \Gamma$ annehmen. Die Gleichung für y^2 verwandelt sich nun in die folgende:

$$y^2 = \frac{(C - z)^2}{\frac{C^2 m^4}{a^2} \left\{ \frac{m-1}{m} + \frac{a C}{a + C} \right\}^2 - 1}.$$

Diese gilt für eine grade Linie VB (Fig. 9), und so lange $\sin. \lambda = \lambda$ gesetzt werden kann, vereinigen sich alle Strahlen, die auf den, ihr entsprechenden Bogen AD fallen, in U . Ist die ganze Linie VZ eine Verlängerung der graden Linie VB , so wirkt auf die Strahlen, die, unter einem gröfsern Winkel einfallend, durch DZ gehen, eine brechende Kraft μ' , die gröfser oder

$$\text{kleiner als } \mu \left\{ = \frac{\sqrt{(a^2 + 2aC \cos. \lambda + C^2)}}{a C \sin. \lambda} p \sin. \varphi \right\} \text{ ist.}$$

Für die Focaldistanz C fanden wir die Gleichung

$$C = \frac{p \sin. \varphi}{\sin. \lambda \sqrt{\left\{ 1 - \frac{p^2 \sin. \varphi^2}{a^2 \mu^2} \right\}} - \frac{\cos. \lambda p \sin. \varphi}{a}}$$

$$= \frac{a}{\sin. \lambda \sqrt{\left\{ \frac{a^2 \mu^2}{p^2 \sin. \varphi^2} - 1 \right\}} - \cos. \lambda}. \text{ Diese ver-}$$

wandelt sich in $C = C$ bei der brechenden Kraft μ ,

weil hierbei $\sin. \lambda \sqrt{\left\{ \frac{a^2 \mu^2}{p^2 \sin. \varphi^2} - 1 \right\}} - \cos. \lambda = \frac{a}{C}$

wird. Geht aber μ in eine grössere oder kleinere

Kraft μ' über, so bleibt $\sin. \lambda \sqrt{\left\{ \frac{a^2 \mu^2}{p^2 \sin. \varphi^2} - 1 \right\}}$

$- \cos. \lambda$ nicht mehr $= \frac{a}{C}$, und daher die Focal-

distanz für μ' nicht mehr $= C$. Die letztere wird jetzt bei einem grössern μ' kleiner, bei einem kleinern μ' grösser als C .

8. Wenn die Strahlen, ehe sie auf die Linse fallen, vorher schon auf eine solche Art gebrochen sind, wie im Auge durch die Hornhaut und die wässrige Feuchtigkeit geschieht, so treffen alle, die aus einem strahlenden Punkte der nach vorne verlängerten Axe der Linse kommen, mit der hintern Verlängerung dieser Axe in der Entfernung p , die wir für positiv angenommen haben, zusammen. Wir betrachteten bisher nur diese Art des Einfalls und setzen dabei $p > a$. Es fragt sich nun aber noch:

Wie es sich mit der Brechung verhalten wird, wenn $p = a$, kleiner als a , $= 0$, oder negativ ist? Da jede einzelne Hälfte der geschichteten Linse die Strahlen nach denselben Gesetzen bricht, wie beide Hälften zusammen, so brauchen wir bloß die vordere Hälfte zu berücksichtigen. Wir sehen dabei vorläufig die im 1ten § für μ angegebene Gleichung als gültig bei jeder GröÙe der Winkel Γ und φ an.

Es sey zuerst p positiv, dabei aber $= a$, oder kleiner als a . Um die Untersuchung allgemein zu machen, setzen wir $p = n a$. n ist gröÙer als 1, wenn $p > a$ ist, $= 1$ in dem Falle $p = a$, und kleiner als 1 für $p < a$. Es is also jetzt

$$\mu = \frac{\sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}}{C \sin. \lambda} n \sin. \varphi,$$

und, wenn wir die Focaldistanz, die wir bisher C nannten, mit X bezeichnen, und $\frac{\sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}}{C \sin. \lambda}$

$= \Sigma$, also $\mu = n \Sigma \sin. \varphi$ setzen, so wird

$$X = \frac{a n \sin. \varphi}{n \Sigma \sin. \varphi. \sin. \lambda \sqrt{\left\{1 - \frac{1}{\Sigma^2}\right\}} - n \sin. \varphi. \cos. \lambda}$$

$$= \frac{a}{\sin. \lambda \sqrt{(\Sigma^2 - 1)} - \cos. \lambda}.$$

Substituiren wir hier für Σ dessen obigen Werth, so ist das Resultat wieder $X = C$. Das Verhältniß von a zu p hat also keinen Einfluß auf die Beständigkeit

des Werths von X . Es bleibt selbst dann noch $X = C$, wenn $p = 0$ wird.

Eben diesen Werth behält X auch, wenn p negativ und dabei kleiner als $-a$, $= -a$, oder größer als $-a$ ist. Hierbei geht Σ in den negativen Zustand über. Σ hat nemlich zwei Werthe:

$$\frac{+ \sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}}{C \sin. \lambda} \quad \text{und}$$

$$\frac{- \sqrt{(a^2 + 2 a C \cos. \lambda + C^2)}}{C \sin. \lambda}.$$

Jener gilt für den Fall, wenn bei unverändertem Winkel λ der Strahl aus der Entfernung $+p$ auf die brechende Fläche fällt. Negativ wird er bei einem Einfall des Strahls unter demselben Winkel aus der negativen Entfernung p , wovon jetzt die Rede ist. Hierbei wird aber auch $\frac{p \sin. \varphi}{a}$ negativ.

Mithin bleibt $\mu \left\{ = \frac{- p \sin. \varphi}{- a \Sigma} \right\}$ positiv. Negativ

wird ferner $\sin. \gamma \left\{ = \frac{- p \sin. \varphi}{a \mu} \right\}$ und dessen

Cosinus $\left\{ = - \sqrt{\left\{ 1 - \frac{p^2 \sin. \varphi^2}{a^2} \right\}} \right\}$. Denn

wenn in Fig. 10 (Tab. I) PF ein Strahl ist, der aus der negativen Entfernung PM auf den Bogen AN fällt, dessen Mittelpunkt M ist, und wenn dieser Strahl nach SK gebrochen wird, so ist jetzt PBV der Winkel, der $\frac{p \sin. \varphi}{a}$ zum Sinus hat, und

$S B V = \gamma$. Beide sind Wechselwinkel derer, die der einfallende und gebrochene Strahl mit dem Halbmesser $B M$ macht, wenn P auf der entgegengesetzten, rechten Seite von $A N$ liegt. Nimmt man also die Sinus und Cosinus der letztern für positiv an, so sind die der erstern negativ. Die Formel für X verwandelt sich also für den gegenwärtigen Fall in die folgende:

$$X = \frac{-p \sin. \varphi}{-\mu \sin. \lambda \sqrt{\left\{1 - \frac{p^2 \sin. \varphi^2}{a^2}\right\}} + \frac{\cos. \lambda p \sin. \varphi}{a}}.$$

Setzen wir hier wieder, wie oben, $\mu = \frac{\sum p \sin. \varphi}{a}$

und $p = a n$, eliminiren die gemeinschaftlichen Buchstaben des Zählers und Nenners des Bruchs, dem X gleich ist, und multipliciren beide mit a , so

$$\text{erhalten wir } X = \frac{-a}{-\sin. \lambda \sqrt{(\sum^2 - 1)} + \cos. \lambda} = \frac{a}{\sin. \lambda \sqrt{(\sum^2 - 1)} - \cos. \lambda} = C. \text{ Also hat auch}$$

der negative Zustand von p keinen Einfluß auf die Unveränderlichkeit des Werths von X .

9. Beim Einfall des Strahls $P F$ (Tab. I. Fig. 10) aus einer negativen Entfernung $P M (= -p)$, die größer als $A M (= -a)$ ist, geht er nach K auf dieselbe Art wie in dem Falle, worin er, wie in Fig. 3 (Tab. I), aus einer positiven Entfernung kömmt, die ebenfalls größer als a ist, nemlich so, daß die gebrochene Linie $B E K$ (Fig. 10), die er beschreibt,

der Axe des brechenden Körpers die hohle Seite zukehrt, und dafs eine, von B nach K gezogene grade Linie B K eine Sehne von B E K ausmacht. Auf den ersten Anblick scheint es, der Strahl könne diesen Weg nicht nehmen, wenn er aus einer Entfernung $\pm p$ kömmt, die $= \pm a$ oder kleiner als $\pm a$ ist. Seine Bahn ist aber dann auch von ähnlicher Art, wie in den beiden vorigen Fällen. In Fig. 11 (Tab. I) stellt A N T R die äussere Schichte des brechenden Körpers, deren Kraft $= Q$ ist, und F P einen Strahl vor, der aus einer positiven Entfernung M P, welche kleiner als a ist, auf A N fällt. Dieser wird in jener Schichte nach der Richtung B D gebrochen, und schneidet den innern Bogen R T der Schichte in O. Die brechende Kraft der zweiten Schichte, worin er gelangt, ist $= m$. Nun kann m kleiner oder gröfser als Q seyn. Ist das Erste der Fall, so mufs der Strahl, nachdem er in O angekommen ist, wieder von der Normallinie M B nach O G abgelenkt werden. In den folgenden Schichten wirken die Kräfte m^2 , m^3 u. s. w. auf ihn, von welchen jede folgende stärker als die vorhergehende ist. Er beschreibt also jetzt eine gebrochene Linie O K, die ihre concave Seite der Axe A P zukehrt. Dasselbe geschieht, wie aus Fig. 12 (Tab. I) erhellet, bei einem Einfall des Strahls F P aus einer negativen Entfernung P M, die kleiner als a ist. Solange m kleiner als Q ist, fällt immer M K ($= C$) gröfser als A M ($= a$) aus. Findet das Gegentheil statt, so wird C entweder $= a$ oder negativ. Die Art, wie sich hierbei der Strahl krümmt, um zum

Brennpunct zu gelangen, ist aus dem bisher Gesagten leicht abzunehmen.

10. Hieraus folgt nun aber, dafs, wenn es eine Linse geben könnte, wofür ohne Einschränkung die Gleichung des 6ten § gültig wäre, diese alle Strahlen, aus welchem Puncte des Horizonts sie kommen möchten, in einem einzigen Puncte vereinigen, und also zur Abbildung der Gegenstände auf einem undurchsichtigen Hintergrunde ganz unbrauchbar seyn würde. Um hierzu geeignet zu seyn, mufs sie die im 7ten § angezeigte Einrichtung haben, wobei sie die Strahlen von Puncten, die in ihrer Axe liegen, nur bei einer gewissen Kleinheit des Winkels, unter welchem jene gegen die Axe geneigt sind, in einem unveränderlichen Focus vereinigt, denen aber, die von andern, ausserhalb der Axe liegenden Puncten kommen, eine solche Richtung giebt, dafs sie ihren Brennpunct ebenfalls ausserhalb der Augenaxe finden. Zur genauen Bestimmung des Weges dieser letztern Strahlen sehe ich indess bis jetzt keine Möglichkeit. Die Rechnungen, die dazu nöthig sind, führen auf logarithmische Gröfsen, auf Potenzen, deren Exponenten unendliche, nicht summirbare Reihen sind, und auf höchst verwickelte, aus solchen Gröfsen und Potenzen bestehende Gleichungen.

11. Bei der Anwendung der bisherigen Sätze auf das Auge finden wir Alles, was uns von der Structur und den strahlenbrechenden Kräften dieses Organs bekannt ist, damit übereinstimmend, und das, woran sich die Uebereinstimmung nicht nachweisen läfst,

von der Seite, worauf es hier ankömmt, noch unerforscht. Mit jenen Sätzen harmonirt

Erstens, die Thatsache, dafs bei allen Thieren der Crystallkörper aus concentrischen Schichten zusammengesetzt ist, die nach ihrem gemeinschaftlichen Mittelpunkt hin an Dichtigkeit zunehmen.

Zweitens, der Umstand, dafs bei dem Menschen und allen Thieren, die mit ihm sehr bewegliche, doch nicht zum Uebersehen eines grossen Horizonts geeignete Augen haben, der Crystallkörper nicht kugelförmig ist, sonderu aus zwei Segmenten besteht, die zusammen dem linsenförmigen Körper der 7ten Figur (Tab. I) ähnlich sind. Nach unsern obigen Sätzen mufs bei einem völlig kugelförmigen Crystallkörper die Abweichung aller gebrochenen Strahlen von einem einzigen, unveränderlichen Brennpunct gröfser seyn als bei einem linsenförmigen, dessen beide Hälften die im 7ten § bestimmten Segmente sind. Dagegen aber ist die Kugelform geeigneter zum Sehen der ausserhalb der Augenaxe liegenden Objecte als die Gestalt der Linse, weil durch sie genauer als durch diese die Strahlen solcher Gegenstände auf der Netzhaut vereinigt werden können. Es ist überhaupt im Auge wie in andern Theilen die Tauglichkeit zu einem gewissen Zweck bei Thieren, für welche dieser Zweck weniger wichtig ist, oft vermindert, damit das Organ desto mehr einem andern Zweck entspreche, der für sie eine gröfsere Wichtigkeit hat.

Drittens, die mit dem Grade der Erleuchtung, zugleich aber auch mit der Entfernung des Objects in Verhältnifs stehende Verengerung und Erweiterung

der Pupille. Aus den obigen Sätzen folgt das Nehmliche, was sich aus meinen frühern Untersuchungen ergab, dafs die Pupille nicht über eine gewisse Gränze hinaus sich erweitern darf, damit der Winkel

φ in den Schranken bleibe, wobei $S = \frac{p \sin. \varphi}{Q}$

werden kann, und dafs sie sich für die äussersten, vom Object ausgehenden Strahlen dem Product $p \sin. \varphi$ gemäß verhalten mufs, um dieses zu einer constanten Gröfse zu machen (§. 7). Da aber ihr Durchmesser zugleich durch den Grad der Erleuchtung bestimmt wird, so kann ihr Verhältnifs zu diesem Product nicht so unveränderlich seyn, wie es seyn müfste, wenn zum blos deutlichen Sehen Vereinigung aller Strahlen des leuchtenden Puncts in einem mathematischen Punct nöthig wäre. Eine solche findet gewifs selbst beim schärfsten Sehen nicht statt. Für dieses mufs aber allerdings die Pupille eine Weite haben, die genauer als beim blos deutlichen Sehen dem Producte $p \sin. \varphi$ entspricht. Eine solche kann sie nur bei einem gewissen Grade von Erleuchtung erhalten. Das scharfe Sehen hat also immer eine äussere Bedingung und innere Factoren. Jene ist ein gewisses Maafs von Erhellung des äussern Medium; diese sind eine möglichst zweckmäfsige Bildung des ganzen Auges und eine, sowohl dem Grade der Erleuchtung als dem Producte $p \sin. \varphi$ sich anpassende Bewegung der Iris.

Was sich von den Resultaten unserer Untersuchungen noch nicht als in der Structur des Auges vorhanden bestimmt aufweisen läfst, ist die mit den

Winkeln λ und Π in Verhältniß stehende verschiedene Dichtigkeit einer äussern, vordern und hintern Schichte des Crystallkörpers. Eine, von den innern Schichten sich sehr unterscheidende Umgebung hat indess dieser Körper an seiner Capsel. Er besteht überdies aus einer Schaale und einem Kern, von welchen dieser in Weingeist, verdünnter Salzsäure u. s. w. eine andre Beschaffenheit annimmt als jene. Die veränderliche, strahlenbrechende Kraft, die wir Q genannt haben, kann selbst in der Hornhaut ihren Sitz haben. Denn es ist nicht nothwendige Bedingung zur Vereinigung der gebrochenen Strahlen in einem festen Brennpunct, dafs die Linse von der äussern Schichte, die jene Kraft Q besitzt, unmittelbar umschlossen wird (§. 6). Die Bestimmung dieses Puncts ist ein Gegenstand für weitere, künftige Untersuchungen.

3.

Ueber den Scheinerschen Versuch

u n d

dessen beweisende Kraft für eine Einrichtung
des Auges nach der Entfernung des
Gegenstandes.

Wenn man in einem Karten- oder Stanniolblatt zwei kleine Löcher nahe neben einander so macht, dafs die Summe ihrer Durchmesser und der Entfernung ihrer Ränder von einander nicht gröfser ist, als der kleinste Durchmesser, den die Pupille haben

kann, und durch die beiden Löcher einen vertikal ausgespannten, feinen Faden gegen einen hellen Hintergrund betrachtet, so sieht man jenen in einer gewissen Entfernung doppelt. Die beiden Bilder weichen um so weiter von einander ab, je näher man den Faden dem Auge bringt, kommen hingegen zusammen beim Wegrücken desselben, vereinigen sich in einem gewissen Abstand zu einem einzigen, und bleiben einfach bis sie endlich verschwinden, wenn das Auge nicht sehr kurzsichtig ist. Im letztern Fall trennen sie sich wieder bei einer noch weitem Entfernung des Objects, und fließen dann nicht wieder zusammen. Dies ist der Scheinersche Versuch, der bis soweit nichts enthält, was sich nicht auch in einer Camera obscura beobachten läßt, wobei aber Umstände statt finden, die zu grossen Täuschungen Anlaß geben können, und dessen wahrer Erfolg sich auf einem andern, sicherern Wege beobachten läßt.

Es sey in Fig. 13 (Tab. II.) LM das Auge, AB dessen Axe, DBF die Hornhaut, GH die Pupille. Vor der Hornhaut befindet sich das in a und b durchlöchernte Blatt RN, und zwar in einer solchen Stellung, daß es mit der Verlängerung BC der Augenaxe rechte Winkel macht, und daß BC durch die Mitte r des Zwischenraums a b beider Löcher geht. p ist ein Punct in BC. Von diesem dringen durch a und b zwei schmale Strahlenbüschel, deren Axen po, pi sind, und welche nach ihren Brechungen die Netzhaut in d, f treffen. Da in jedem dieser beiden Puncte d, f ein Bild des Objects p entsteht, so erscheint es doppelt. Rückt p bis q

vom Auge weg, so nähern sich einander die einfallenden Strahlen qo , qi , und mit ihnen sowohl die gebrochenen Strahlen ox , iz , als die Bilder x , z . Diese vereinigen sich mit einander, sobald q soweit vom Auge absteht, daß die einfallenden Strahlen qo , qi nur noch einen sehr kleinen Winkel mit einander machen, und ihre Vereinigung wird für ein gewöhnliches Auge immer inniger mit der Näherung dieser Strahlen zur völlig parallelen Lage. Hingegen in einem kurzsichtigen Auge, worin eine stärkere Refraction statt findet, können beim weitem Fortrücken des Objects nach t die Strahlen to , ti nach ihrer Brechung die Lagen oz , ix annehmen, wobei sie sich innerhalb dem Auge bei l kreuzen, und an denselben Stellen z , x , worin sie bei der Lage des Objects in q die Netzhaut trafen und hinter dem Auge in s zusammen kamen, wieder zwei verschiedene Bilder hervorbringen.

Macht man von p aus $pk = ph$, spannt in jedem der beiden Punkte k , h einen Faden vertikal aus, und nimmt bei unveränderter Stellung des Auges den Faden in p , so wie das Blatt RN weg, so erfolgt das, was in Fig. 14 (Tab. II.) vorgestellt ist, worin die sämtlichen grossen Buchstaben A , L , D , B u. s. w. und von den kleinern p , k , h das Nelmliche wie in Fig. 13 bezeichnen. Wenn man bei dieser Vorrichtung die beiden Fäden in k und h bald dem Auge nähert, bald davon wegrückt, während ihre Entfernung von einander und ihre Stellung gegen die Augenaxe unverändert bleiben, so beobachtet man dasselbe, was man beim vorigen Versuch sahe, nur

mit den Unterschieden, daß 1) statt der vorigen, sehr schmalen Strahlenbüschel zwei, die ganze Oeffnung der Pupille einnehmende Strahlenkegel $k m t$, $h m t$ von den Objecten k , h in das Auge fallen; 2) die Bilder $m' t'$, $m'' t''$ der Objecte auf der Netzhaut nicht mehr von dem Blatt, das vorher vor dem Auge angebracht war, beschattet sind, und 3) diese sich auch für das kurzsichtige Auge bei weiterer Entfernung des Gegenstandes nicht wieder trennen, wenn sie sich einmal vereinigt haben. Wegen der beiden ersten Punkte sind die Bilder jetzt weit klarer und bestimmter als beim Scheinerschen Versuch. Gegen die allgemeine Gültigkeit des dritten ließe sich anführen, daß manche kurzsichtige Menschen die Gegenstände in einem weitem Abstand vervielfältigt sehen. Allein dies ist ein Gesichtsfehler, der nur von einem unregelmäßigen Bau der Hornhaut oder Linse herrühren kann. Die Bilder der beiden Objecte k , h müssen zwar in einem kurzsichtigen, doch sonst regelmäßig gebauten Auge beim weitem Fortrücken des Gegenstandes wieder etwas von einander weichen. Sie sind dann aber so groß, und bleiben immer noch so nahe beisammen, daß sie schwerlich sich wieder ganz von einander trennen können. Ein Anderes ist es, wenn die Hornhaut oder die eine der beiden Flächen des Crystallkörpers seitwärts irreguläre Krümmungen hat, die bei einem gewissen Grad von Erweiterung der Pupille und beim Auffallen paralleler Strahlen diese in mehreren Brennpuncten vereinigen.

Wer den letztern Versuch mit dem einen Auge, während das andere bedeckt ist, unbefangen und so

anstellt, dafs er den einen der beiden Fäden immer scharf im Auge behält, wird die Entfernung vom Auge, worin kein Zwischenraum zwischen den beiden Fäden mehr zu sehen ist, unter unveränderten äussern Umständen, stets unverändert finden, und durch keine willkührliche Einwirkung auf das Auge es dahin bringen, dafs bei einem Zwischenraum der Fäden, der kleiner als der kleinste Durchmesser ist, den die Pupille haben kann, sich dieselben innerhalb den Gränzen des relativ schärfsten Sehens vereinigen, oder bei einem gröfsern Zwischenraum sich ausserhalb dieser Gränzen wieder trennen, nachdem sie sich einmal vereinigt haben. Dies müfste sich aber in jedem Augenblick machen lassen, wenn das Gesichtswerkzeug anderer, dem Abstände der Objecte entsprechender Veränderungen als derer, die in der Pupille vorgehen, fähig wäre. Da sich auf diesem sichern Wege keine Beweise für ein Einrichtungsvermögen des Auges ergeben, so kann auch der Scheinersche Versuch keine dafür liefern, wenn er auf die gehörige Weise angestellt wird.

De la Hire benutzte in der That diesen Versuch als einen Grund für seine Meinung von der Abwesenheit eines Vermögens der erwähnten Art. Porterfield glaubte indess Umstände dabei entdeckt zu haben, woraus sich auf die Gegenwart eines solchen Vermögens schliessen liefse. Dieser Schriftsteller*) ging von einer Thatsache aus, die an sich ganz richtig ist, aber von ihm ganz unrichtig gedeutet wurde.

*) On the Eye. Vol. I. p. 408.

Wenn man zwei Objecte A, B (Tab. II. Fig. 15) so hinter einander stellt, daß jedes von beiden Augen E F, e f unter gleichen äussern Sehwinkeln gesehen wird, und die Augen auf das eine Object A richtet, so erscheint das andere B verdoppelt. Die Verdoppelung, glaubte Porterfield, rühre daher, weil mit dem Richten der Augenaxen $a m$, $a' m'$ auf den einen Gegenstand A das Auge der Entfernung dieses Objects angepaßt und dadurch mit der des andern B in Disharmonie gebracht würde. Jeder, der ohne vorgefaßte Meinung diesen Versuch prüfet, sieht aber auf den ersten Blick, daß der Grund der Verdoppelung bloß der ist, weil, wenn die Axen $a m$, $a' m'$ beider Augen auf einerlei Punct A gerichtet sind, von jedem andern Punct B, der vor oder hinter diesem liegt, zwei Bilder o, o' entstehen, welche beide entweder auf die äussere, oder auf die innere Seite beider Netzhäute fallen und deswegen als von zwei verschiedenen Gegenständen kommend vorgestellt werden.

So nahe aber auch bei diesem Versuch und allen möglichen Abänderungen desselben die Wahrheit liegt, so wird doch der alte Irrthum Porterfield's bald unter dieser, bald unter jener Gestalt immer wieder erneuert. Eine Abänderung der obigen Thatsache, die Volkmann*) eben so unrichtig, wie Porterfield die obige deutet, ist unter andern die folgende. Man betrachte einen dünnen, horizontal ausgespannten Faden p q (Tab. II. Fig. 16) der Länge nach von dem einen Ende p aus. Fixirt man die Stelle h, so

*) A. a. O. S. 113.

erscheint hier der Faden in seiner natürlichen Feinheit und Farbe. Von h aus nach p und q hin wird er aber immer breiter, grauer und unscheinbarer. Richtet man die Aufmerksamkeit auf eine andere Stelle des Fadens, so sieht man diese so, wie vorher die Stelle h, und die vor und hinter ihr liegenden Theile so, wie vorher h p und h q. Spannet man neben p q und parallel damit noch zwei oder drei andere Fäden aus, so zeigen sich, wenn man aus der Gegend von p auf sie blickt, auch die analogen Stellen der übrigen Fäden von ähnlicher Beschaffenheit wie die von p q. „Dieser Versuch“, sagt Volkmann, „ist ein schlagender Beweis, daß die verschiedene Deutlichkeit zweier Objecte von verschiedener Entfernung, nicht Folge der concentrirten Aufmerksamkeit auf das eine ist. Kann sich die Aufmerksamkeit in der Breite des Gesichtsfelds vertheilen, so hat man keinen Grund, ihr diese Fähigkeit in der Direction der Tiefe abzusprechen. Die dünnen Stellen der vier parallellaufenden Fäden erscheinen deshalb am dünnsten, weil sie unter gleichen Accommodations-Verhältnissen gesehen werden, und die verbreiterten Stellen derselben Fäden erscheinen darum nicht gleich deutlich, weil jene Gleichheit fehlt“.

Wie man doch, auch bei sonstigem Scharfsinn, nicht bemerkt, was noch so nahe liegt, wenn man von einer vorgefaßten Meinung befangen ist! Es sey E F (Fig. 16) das Auge und m a die Axe desselben. Fällt diese mit m h zusammen, so sieht man in ihr den Punct h völlig scharf. Die zunächst bei h liegenden Puncte stellen sich auf der Netzhaut noch

nicht als merklich verschieden von h dar. Größer aber wird die Verschiedenheit für den Punct g , der sich in c auf der Retina abbildet, und so wächst jene immer mehr, je weiter sich der Punct, wovon Strahlen ins Auge fallen, von h nach p entfernt. Dasselbe geschieht auf der andern Seite des Fadens. Je weiter aber das Bild c von dem Punct a der Augenaxe wegrückt und dem Rande der Netzhaut näher kömmt, desto unvollkommener sind darin die Strahlen des von G zum Auge gehenden Kegels vereinigt, desto breiter und nebliger wird dasselbe. Ist PQ ein anderer, parallel mit pq , nahe neben diesem und mit ihm in einerlei horizontalen Ebene ausgespannter Faden und das Auge auf h gerichtet, so fällt zwar das Bild des, mit h sich in beinahe gleichem Abstände vom Auge befindlichen Puncts H nicht in a , sondern in r , doch so nahe bei a , daß die Verschiedenheit von r und a um so weniger merklich ist, da die Augenaxe auch immerfort von h nach H herüber schweift. So wie sich das Bild von H gegen das von h verhält, so werden sich aber auch die Bilder von G und g gegen einander verhalten, wenn G in PQ zunächst bei g in pq liegt. Man giebt also die wahre Erklärung des Erfolgs dieser Versuche mit Volkmanns eigenen Ausdrücken, wenn man nur einige Worte darin ändert und sagt: Die dünnen Stellen der parallelen Fäden erscheinen deshalb am dünnsten, weil sie in oder gleich neben der Augenaxe gesehen werden, und die breitem Stellen erscheinen darum breit und neblig, weil sie sich auf der Netzhaut in größerer Entfernung von

der Augenaxe abbilden. Es ist übrigens hlerbei auch noch das mit in Anschlag zu bringen, dafs alle von g und ähnlichen Puncten kommende Strahlen sehr schief auf die Hornhaut des nahen Auges E F fallen, und dafs darum viele von diesen gar nicht zur Netzhaut gelangen.

In einerlei Classe mit den Versuchen, worauf sich Porterfield und Volkmann berufen, gehört ferner von Einer Seite eine Erfahrung, die Kohlrausch als einen Beweis für ein Accommodationsvermögen des Auges anführt. Doch kommen dabei Umstände vor, welche die Erklärung verwickelter machen. „Warum“, fragt dieser*), „sehen wir häufig einen „nahen Gegenstand undeutlich, wenn wir dicht an „ihm her einen fernen betrachten, oder umgekehrt, „warum erscheint der ferne mit undeutlichen Gränzen, „wenn wir einen nahen fixiren, und zwar mit so „deutlich undeutlichen, dafs wir ihre Undeutlichkeit „zeichnen könnten, da diese Erscheinung doch nicht „statt findet, wenn beide, fast in derselben Richtung „gelegene Gegenstände weiter entfernt liegen? Warum „sollte ich im einen Falle etwas wahrnehmen, was „ich im andern, ganz ähnlichen nicht empfinde? „Concentrire ich etwa im letztern die Sehekraft der „Retina nicht eben so gut in einem Punct?“

Diese Fragen lassen sich ganz befriedigend ohne Voraussetzung eines Einrichtungsvermögens des Auges beantworten. Von zwei gleichen Gegenständen p, q (Tab. II. Fig. 17), z. B. zwei aufrecht stehenden

*) A. a. O. S. 21.

Stecknadeln, die gleichzeitig gesehen werden, bildet sich der eine p , auf den wir das Auge heften, in der Augenaxe bei a , der andere q ausserhalb derselben bei o ab. Das letztere Bild ist undeutlich, das erstere bestimmt. Der Eindruck, den p auf das Auge macht, und also der Unterschied in der Deutlichkeit zwischen den Bildern a und o wird geringer, wenn man p weiter vom Auge weg nach p' versetzt, so daß $b p' = b q$ wird, vorausgesetzt, daß der Unterschied zwischen $b p$ und $b q$ nicht sehr gering ist. Entfernt sich p' noch weiter, und zugleich mit q , vom Auge nach p'' und q' , während die Perpendikel $g q$ und $h q'$ sich gleich bleiben, so nähert sich das Bild o dem Bilde a , indem es nach n geht, und der Unterschied in der Deutlichkeit beider Bilder wird noch mehr als im vorigen Falle vermindert. Dieser Erfolg ist den einfachsten optischen Gesetzen ganz gemäß. Betrachten wir jetzt mit gespannter Aufmerksamkeit und mit unverwandtem Auge eine längere Zeit das in der Augenaxe befindliche Object p , so entschwindet das andere q immer mehr dem Bewußtseyn. Aber was hat es mit einem Accommodationsvermögen des Auges gemein, daß, wenn wir im Anschauen eines Gegenstandes ganz verlohren sind, die übrige Welt uns entrückt ist?

Die Sehekraft der Netzhaut concentrirt sich allerdings ganz zunächst der Augenaxe, wenn das Object, worauf diese gerichtet ist, ausschliesslich uns beschäftigt. Damit aber unsere Aufmerksamkeit nicht getheilt werde, muß dieser Gegenstand gegen die übrigen, die neben ihm im Gesichtsfelde sind,

contrastiren. Blickt man auf mehrere kleine, neben einander stehende Nullen, einfache Zahlen, Buchstaben, oder sonstige Figuren, die alle einerlei Gestalt, Gröfse und Farbe haben, in regelmässigen Reihen geordnet sind und gleich weit von einander abstehen, so ist es nicht möglich das Auge eine längere Zeit auf einen der Gegenstände zu heften. Dieses wendet sich unaufhörlich vom einen zum andern, sucht in jedem etwas Unterscheidendes und findet immer dasselbe Bild wieder. Zwischen den beiden obigen Objecten findet nun ein merklicher Contrast statt, so lange sich das eine in p, das andere in q befindet. Dieser verliert sich aber um so mehr, je weiter beide Gegenstände, bei unverändertem Abstände derselben von einander, vom Auge entfernt werden. Der Grund der Thatsache, worauf sich Kohlrausch beruft, ist also gar nicht so einfach, wie dieser Schriftsteller zu glauben scheint. Es giebt überhaupt manche Umstände beim Sehen, die sich nicht aus optischen Gründen, sondern nur aus den Gesetzen der Erregbarkeit erklären lassen. Das eben gedachte Factum betrachtete auch schon Jurin*) als ein rein physiologisches. Er führt ausserdem als ein solches die Erfahrung an, dafs eine weisse, auf einem breiten, schwarzen Grund gezogene Linie dem Auge weit länger sichtbar bleibt, als der weisse Zwischenraum zwischen zwei schwarzen, auf weissem Grund gezogenen Linien, der mit jener weissen Linie einerlei Breite hat. Dahin gehört auch die von mir gemachte

*) A. a. O. p. 150.

Bemerkung, daß ein weisser Punct auf dunkelm Grunde dem Auge früher entwindet, als ein schwarzer Punct auf weissem Papier*).

Auf den Erfolg des von Kohlrausch angeführten Versuchs hat aber überdies noch die Weite der Pupille Einfluß, die sich der Entfernung des Objects, worauf die Augenaxe gerichtet ist, anpaßt. Kohlrausch meint zwar, auch dargethan zu haben, daß das deutliche Sehen in verschiedener Entfernung nicht durch einen bestimmten Durchmesser der Pupille bedingt werde**). Sein Beweis würde aber kaum einer Prüfung werth seyn, wenn sich nicht einige allgemeine Erinnerungen dabei machen ließen. Betrachtet man Gegenstände durch ein Loch eines Kartenblatts von ungefähr $\frac{1}{4}$ Linie im Durchmesser, so erscheinen diese in einem Abstände von 5 Zoll bis zu jeder beliebigen Entfernung scharf begränzt. Man kann also, sagt K. bei ganz unveränderter Pupille in jeder Entfernung gleich deutlich sehen. Damit soll ein Satz umgestossen seyn, für den sich grade dieses Factum mit als ein Grund anführen läßt. Untersucht

*) G. R. Treviranus über den blättrigen Bau der Crystalllinse. S. 61.— Hingegen einen optischen Grund hat die Thatsache, daß eine Linie länger sichtbar ist als ein einzelner Punct, dessen Durchmesser ihrer Breite gleich kömmt, wie auch schon von Jurin (a. a. O. p. 151) gezeigt ist. Mehrere vereinigte Puncte machen nemlich einen stärkern Eindruck auf das Auge als ein einzelner. Es läßt sich daher nicht aus der weitem Entfernung, worin ein Haar sichtbar bleibt, auf eine grössere Kleinheit des äussern Sehewinkels schliessen, als sich aus dem Abstand ergibt, worin der haarbreite Zwischenraum zwischen zwei Puncten verschwindet, wie von Volkmann (a. a. O. S. 62) und andern Schriftstellern gethan ist.

**) A. a. O. S. 19.

man dasselbe näher, so findet man, daß es damit folgende Bewandniß hat. Durch eine Oeffnung, die einen kleinern Durchmesser hat, als der kleinste ist, den die Pupille haben kann, sieht man zwei kleine, unter der Loupe auf weissem Papier einander so nahe gemachte Punkte, daß sie dem bloßen Auge nur als ein einfacher Punct erscheinen, noch als getrennt, und man unterscheidet sie noch in der Entfernung von 2 bis 3 Zoll, die unter der Sehweite des bloßen Auges ist. Hält man die Punkte in einem weitem Abstand vom Auge, so sind sie durch das Loch des Kartenblatts gar nicht mehr zu erkennen, während sie das bloße Auge in eben dieser Entfernung noch als einen einfachen Punct, als einen solchen aber noch deutlich wahrnimmt. Blickt man durch die Oeffnung auf einen entfernten Thurm, so stellt sich dieser zwar da, wo er den hellen Himmel zum Hintergrund hat, in bestimmten Umrissen, doch wie im Dämmerlichte dar, und es lassen sich einzelne Theile desselben, die man mit bloßen Augen deutlich sieht, z. B. die Sprossen der Fenster, die kleinern Verzierungen von Bildhauerarbeit u. d. gl. nicht deutlich erkennen.

Hieraus folgt ja offenbar, daß die Weite der Oeffnung, wodurch die Lichtstrahlen ins Auge fallen, einen sehr großen Einfluß auf das deutliche Sehen naher und ferner Gegenstände hat. Wir würden durch eine unveränderliche Pupille von $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{6}$ Linie im Durchmesser sehr nahe Objecte schärfer, hingegen ferne weit weniger deutlich sehen, als durch die größere, aber der Entfernung der Gegenstände sich

anpassende Oeffnung, die uns die Natur gegeben hat. Durch unsere Pupille mußte ein doppelter Zweck erreicht werden: Verschmälerung des Strahlenkegels, dessen Spitze die Netzhaut trifft, bis zu dem Grade, daß der Durchmesser des durch ihn auf dieser Haut erzeugten Bildes in einer gewissen Gränze bleibt, und doch zugleich Erweiterung des Kegels in dem Maafse, daß das Bild von einer hinreichenden Menge Strahlen erzeugt wird. Dabei durfte die Verengerung auch deswegen nicht über einen gewissen Grad hinausgehen, damit das Gesichtsfeld nicht zu sehr beschränkt würde. Die Gesetze, nach welchen die Iris sich zusammenziehen und ausdehnen könnte, wenn ihre Bewegungen bloß für den einen jener Zwecke berechnet wären, sind daher durch die, nach welchen ihre Thätigkeit sich richten würde, wenn sie bloß für den andern wirkte, modifizirt. Wer also aus Versuchen über diese Thätigkeit Resultate erhält, die bloß mit den erstern oder bloß mit den letztern Gesetzen nicht ganz übereinstimmen, ist ganz und gar nicht befugt, daraus zu schliessen, daß die Bewegungen der Iris nicht dem einen oder nicht dem andern der beiden Zwecke entsprechen.

Wir kommen jetzt auf die zuletzt erwähnte Erfahrung Porterfield's zurück. Dieser brachte damit eine andere in Verbindung, die er für einen sichern Beweis des von ihm angenommenen Accommodationsvermögens hielt. Er räumte dem De la Hire ein, daß, wenn man mit dem einen Auge durch zwei kleine, einander sehr nahe Oeffnungen einen gewissen Punct fixirt, während das andere geschlossen ist, die

Gränze der Vereinigung und Trennung der beiden Bilder des Objects immer die nemliche bleibt, welches nicht seyn könnte, wenn sich das Auge der Entfernung des Gegenstandes anzupassen vermögte. Da er aber mit der zuletzt angeführten Erfahrung dargethan zu haben glaubte, daß die Accommodation dann einträte, wenn beide Augen zugleich thätig wären und den Gegenstand gemeinschaftlich fixirten, so meinte er, dieses Vermögen werde sich beim Sehen durch kleine Oeffnungen dann äussern, wenn man den Versuch so anstellte, daß beide Augen dabei mitwirkten. Der Erfolg des, auf diese Weise abgeänderten Versuchs entsprach in einigen Fällen seiner Erwartung. Wenn er durch zwei enge und einander nahe Spalten einer Blechplatte auf einen, ausserhalb der Gränze des relativ schärfsten Sehens befindlichen Punct mit dem einen Auge blickte, während das andere, offene und unbedeckte Auge ebenfalls auf diesen Punct gerichtet war, so fiel die Stellung der beiden Bilder im ersten anders aus, als wenn es ohne Mitwirkung des zweiten das Object ansahe, und zwar zuweilen der Voraussetzung gemäfs, daß durch die Mitwirkung die Vereinigungspuncte der von dem Gegenstande ausgehenden Strahlen verändert würden*).

Porterfield gesteht, es seyen ihm aber auch Fälle vorgekommen, wo ein anderer Erfolg eintrat als der, welcher nach seiner Theorie sich hätte ereignen sollen. Dies hätte ihn freilich mißtrauisch gegen seine Meinung machen und zum Aufsuchen

*) Porterfield a. a. O. p. 415.

des Grundes der verschiedenen Resultate bewegen sollen, den er in Umständen gefunden haben würde, wodurch die Zuverlässigkeit seiner positiven Erfahrungen aufgehoben wird. Um bei dem Scheinerschen Versuch eine reine Beobachtung zu machen, muß nicht nur die Mitte r (Tab. II. Fig. 13) des Zwischenraums $a b$ zwischen den beiden Löchern a, b , und das Object p beständig in der verlängerten Augenaxe $A B$, sondern auch der Abstand $B r$ der Hornhaut von dem Blatt $R N$ immer unverändert bleiben. Dazu bedarf es aber einer ganz unveränderten Stellung des Auges. Wird diese nicht behauptet, indem sich das Auge nach der Seite bewegt, so rückt, wie in Fig. 18 (Tab. II.) das Object p aus der Augenaxe weg nach p' . Dann aber fallen die Strahlen desselben nicht mehr, wie vorher, nach den Richtungen $p o, p i$, sondern nach $p' m, p' t$ auf die Hornhaut, und werden nicht mehr von o und i nach A , sondern von m und t nach r und v gebrochen. Sie können jetzt, statt des vorigen einfachen Bildes in A , deren zwei r, v , die auf einerlei Seite der Augenaxe $A B$ fallen, oder auch nach der Verschiedenheit des Baues des Auges, der Gröfse des Zwischenraums $a b$ zwischen den Löchern a, b , und der Entfernung $B p$ des Objects, ein einfaches Bild statt eines vorigen doppelten hervorbringen. Bewegt sich das Auge nicht nur nach der einen Seite, sondern auch näher nach $R N$ hin, so wird die Entfernung $B p$ des Auges vom Object verkürzt, und es ist nun möglich, daß die, durch das eine Loch gehenden Strahlen von der Iris $D G$ oder $F H$ aufgefangen werden, wovon dann eine neue Anomalie

im Erfolg entstehen muß. Ganz unbeweglich läßt sich aber das Auge bei dem Versuch nie halten. Schon die Erwartung irgend eines Erfolgs hat eben so einen Einfluß auf die Stellung desselben, wie auf die Richtung des Schwunges eines zwischen dem Daumen und Zeigefinger gehaltenen Fadens, woran eine Kugel hängt.

Ungeachtet der Unzuverlässigkeit des Scheiner'schen Versuchs in Hinsicht auf die Frage nach einem Accommodationsvermögen des Auges, worauf ich schon im 6ten Bande meiner Biologie (S. 511) aufmerksam machte, glaubt aber Volkmann doch damit auf ein sicheres Resultat gekommen zu seyn. Er sagt*): „Wenn man durch zwei Kartenlöcher eine Stecknadel „in derjenigen Entfernung betrachtet, wo sie einfach „erscheint, so kann man die Nadel innerhalb gewisser „Gränzen näher oder ferner rücken, und, dennoch „einfach sehen. Fixirt man die Nadel mit Anstren- „gung, so kann man sie unter Entfernungen einfach „sehen, wo ohne diese Anstrengung weit getrennte „Doppelbilder zum Vorschein kommen“. Ich werde zweifeln, daß Volkmann etwas Weiteres gethan hat, als die Stellung des Auges gegen die beiden Löcher verändern, solange man mir nicht sichere Beweise giebt, daß man mit bloßen Augen, durch willkührliche Einwirkung auf sie, zwei getrennte Punkte, die sich beim unangestregten Sehen in einer gewissen Entfernung zu einem einzigen vereinigt hatten, wieder als verschieden wahrnehmen kann, oder daß

*) A. a. O. S. 112.

es möglich ist, die Pupille willkürlich zu erweitern und zu verengern. Wer dies kann, wird freilich auch jenes können, und man sagt zwar, einige Personen könnten das Letztere. Allein wenn auch wirklich einige Menschen eine willkürliche Herrschaft über die Pupille besitzen, was mir nicht glaublich ist, so fehlt doch eine solche im Allgemeinen dem Menschen, und auf jeden Fall ist die Accommodation des Auges, die durch die Pupille geschieht, ganz verschieden von der, die man sonst unter diesem Ausdruck versteht.

Die vermeinten willkürlichen Bewegungen der Iris kann ich für nichts Anderes halten, als für Wirkungen einer so grossen Beweglichkeit dieses Organs, daß es schon bloß von der willkürlichen Vorstellung eines in einer gewissen Entfernung sich befindenden Objects in Thätigkeit gesetzt wird. Aus diesem Gesichtspuncte betrachtet, sind sie andern organischen Erscheinungen analog, die ebenfalls in Folge bloßer Vorstellungen entstehen, und dann erklärt sich aus der Annahme derselben der Erfolg eines Versuchs, der von Muncke für einen Beweis der Wirklichkeit eines Accommodationsvermögens des Auges angeführt ist. Nachdem dieser verdiente Physiker in einem neuern Aufsätze über das Sehen*) vorher mit Recht bemerkt hat, ich würde als Folge der Unstetigkeit in der Richtung der Augenaxe (und, hätte er noch hinzusetzen können, der geminderten

*) In Gehler's physikal. Wörterbuch, neu bearbeitet von Gmelin u. s. w. B. 8. S. 748.

Beweglichkeit der Iris) ansehen, was Stampfer in den Jahrbüchern des polytechnischen Instituts in Wien als einen Beweis für ein Vermögen des Auges, sich den ungleichen Entfernungen der Gegenstände anzupassen, angesehen hat, daß entfernte Objecte anfangs undeutlich erscheinen, wenn man die Augen von nahen, anhaltend betrachteten schnell auf sie richtet, fährt er fort: „Beweisende ist folgende, von Beobachtungen mit dem Mikroskop hergenommene Erfahrung. Ist das Ocular mit einem Fadenkreuz versehen, und stellt man das Ocular so, daß das Bild eines geeigneten Objects nicht ganz in die Ebene des Fadenkreuzes fällt, sondern etwas vor oder hinter dasselbe, so erscheint dem Auge das Fadenkreuz deutlich, das Bild aber undeutlich, wenn man die Aufmerksamkeit vorzugsweise auf ersteres richtet; richtet man diese aber auf das Bild, so erscheint dieses plötzlich deutlich, das Fadenkreuz aber undeutlich, so daß man wechselsweise bald das eine, bald das andere Object deutlich sehen kann“. Bis soweit ist Alles genügend erklärbar aus der bloßen Voraussetzung einer Verengerung und Erweiterung der Pupille beim abwechselnden Fixiren des Objects und des Fadenkreuzes, die durch den wirklichen Eindruck dieser Dinge aus verschiedenen Entfernungen auf die Netzhaut verursacht wird. Muncke setzt aber noch hinzu: „Jene Veränderungen des Auges für Gegenstände in verschiedenen Entfernungen erfolgen mit größerer Leichtigkeit, wenn die Vorstellung über die jedesmalige Entfernung gleichzeitig eintritt, als wenn Letzteres nicht

„der Fall ist“. Wenn hierbei nicht Täuschung statt gefunden hat, so ist dies ein Beweis, daß bei einigen Menschen der Durchmesser der Pupille schon von der bloßen Vorstellung einer gewissen Entfernung verändert werden kann.

Diese Abhängigkeit jenes Durchmessers von bloßen Vorstellungen findet aber, wie gesagt, nicht bei allen Menschen statt, die doch sehr gut in verschiedener Entfernung sehen, und denen man, wenn zum Nahe- und Fernsehen überhaupt ein Accommodationsvermögen des Auges nöthig wäre, ein solches doch zuschreiben müßte. Ich lese jetzt in meinem sechszigsten Jahre die Schrift, womit dieses Buch gedruckt ist, noch mit gleicher Leichtigkeit in der Entfernung von 8 und 18 bis 20 Pariser Zoll. Ich habe dabei eine enge, wenig bewegliche Pupille, und bedarf deswegen zum schärfern Sehen mehr Licht als jüngere Personen, deren Pupille weiter und beweglicher ist. Von der Verdoppelung und Vereinfachung des Bildes beim Scheinerschen Versuch, die Volkmann durch eine gewisse Anstrengung des Auges bewirkt zu haben glaubt, und von dem abwechselnden Verschwinden und Erscheinen des Objects und Fadenkreuzes, die nach Muncke bei microscopischen Beobachtungen in Folge der bloßen Erwartung eintreten, kann ich nichts wahrnehmen. Wenn also Volkmann's und Muncke's Erfahrungen auch richtig sind, so folgt doch nicht daraus, dass zum gewöhnlichen Nahe- und Fernsehen solche Veränderungen des Auges, wie man dazu für erforderlich hält, nothwendig sind.

Nach dem bisher Gesagten wird es kaum noch nöthig seyn, einer andern Abänderung des Scheiner'schen Versuchs zu erwähnen, worin Kohlrausch *) einen so wichtigen Beweis für eine Einrichtung des Refraktionszustandes des Auges nach der Entfernung des Gegenstandes findet, dafs er versichert: Könne sie jemand genügend erklären, ohne zu einer Veränderung dieses Zustandes seine Zuflucht zu nehmen, so wolle er gern dem Glauben an diese Veränderung entsagen. Wenn in Fig. 13 (Tab. II.) zwei Objecte p, t in der verlängerten Axe $A t$ des Auges $L M$ stehen, und vor diesem sich das in a und b durchlöchernte Blatt $R N$ befindet, so entstehen zwei Bilder von t zunächst der Augenaxe in x, z , und zwei von p weiter davon in d, f . Rückt aber p aus der Augenaxe weg nach p' hin, während t darin bleibt, oder wendet sich das Auge so, dafs beide Objecte gegen dasselbe diese veränderte Lage erhalten, so fallen von p' durch die Löcher a, b die Strahlenbüschel $p'm, p'n$ auf die Hornhaut, von welchen der eine $p'm$ nach $m A$ gebrochen wird und in A ein Bild hervorbringt, das zwischen x und z fällt, der andere $p'n$ hingegen entweder von der Iris $H T$ aufgefangen wird, oder, wenn er auch in der Richtung $n v$ zur Netzhaut gelangt, doch so zerstreuet wird, dafs sich kein begrenztes Bild von ihm erzeugen kann. Man sieht also in diesem Falle von dem nähern Object p' nur noch Ein Bild in A zwischen den beiden, die sich von dem entfernten t in x und z darstellen. Dieser

*) A. a. O. S. 22.

Erfolg, der sich, wie man sieht, aus den Gesetzen der Refraction und aus der Unmöglichkeit, die beiden Gegenstände p , t durch die engen Oeffnungen des Blatts RN mit ganz unverwandtem Auge zu fixiren, ohne alle Schwierigkeit erklären läßt, ist das schwere Problem, das Kohlrausch dem aufzulösen giebt, der nicht mit ihm an eine Veränderung der brechenden Kräfte des Auges beim deutlichen Sehen naher und entfernter Gegenstände glaubt.

4.

**Ueber die Richtung, worin Gegenstände,
die ausserhalb der Augenaxe liegen,
gesehen werden.**

Die Frage nach dieser Richtung läßt sich in zwei andere zerfällen. Die Strahlen eines jeden äussern Puncts, der sich ausserhalb der Augenaxe befindet, vereinigen sich auf der Retina zu einem Bilde, dessen Mittelpunkt zur Augenaxe eine ähnliche Beziehung wie der äussere Punct hat, und die Strahlen des letztern treffen die Netzhaut unter gewissen, aber sehr verschiedenen Winkeln. Es fragt sich nun: 1) Wodurch wird die Stelle des Bildes auf der Netzhaut bestimmt? 2) Wodurch werden wir bestimmt, das Bild an eine gewisse Stelle ausser uns zu versetzen?

Die Antwort auf die erste Frage ergiebt sich aus der Betrachtung der 19ten Figur (Tab. II.). Hier

ist $A L B M$ der Augapfel, $A B$ die Axe desselben, $D B F$ die Hornhaut, $G H$ die Pupille, $I K$ die Linse, $L A M$ der von der Retina bedeckte Hintergrund des Auges, Q der Mittelpunkt der Hornhaut $D B F$, P das Centrum der vordern Fläche $I g v K$ der Linse, R das Centrum der hintern Fläche $I i h K$ dieses Organs, a ein ausserhalb der Augenaxe liegender, strahlender Punct. Wir nehmen vorläufig an, daß die Krümmungen der sämtlichen brechenden Flächen des Auges Kreisbogen sind und die Linse ein Körper von homogener Dichtigkeit ist. Von a fällt auf die Hornhaut der Strahlenkegel $a b d$, der die von a nach dem Mittelpunkt Q der Hornhaut gezogene Linie $a Q$ zur Axe hat. Nach dem Durchgang durch die Hornhaut und Pupille bilden die gebrochenen Strahlen ein zweites, unvollständiges Kegelstück $b f g d$, dessen Axe einerlei mit der vorigen $a Q$ ist. Ein drittes Bruchstück $f h i g$ von einem Conus entsteht nach dem Durchgang der Strahlen durch die vordere Fläche $I g v K$ der Linse $I K$. Dieses hat seine eigene Axe $P v$, die durch den Mittelpunkt P der Fläche $I g v K$ und durch den Punct, worin die Seiten $h f$, $i g$ des Kegelstücks $f h i g$ zusammenkommen, bestimmt wird. Nach dem Austritt der Strahlen aus der Linse bildet sich ein vierter Kegel $h m i$ im Glaskörper, der wieder eine andere Axe $R m$ hat.

Die sich im Auge erzeugenden Strahlenkegel haben also schon keine gemeinschaftliche Axe, wenn man auch die Linse für einen Körper von homogener Dichtigkeit gelten läßt. Nimmt man dieses Organ für das an, was es wirklich ist, für eine Zusammensetzung

aus dünnen Schichten von verschiedener Dichtigkeit, so ist an eine wahre, vom äussern strahlenden Punct a bis zum Bilde m desselben auf der Netzhaut stetig fortgehende Axe der sämmtlichen Strahlen jenes Puncts nicht mehr zu denken.

Zur Bestimmung der Lage des Bildes m auf der Netzhaut bedarf es indess keines wahren Axenstrahls. Dazu ist der äussere Sehwinkel $a B c$ hinreichend. Von jedem solchen Punct, wie a ist, geht ein Strahl $a B$ zum vordern Ende B der Augenaxe $A B$, und dieser muss nach seinem Durchgange durch die strahlenbrechenden Theile des Auges mit allen übrigen Strahlen des Puncts a in m zusammenkommen, wenn a als ein einzelner, begränzter Punct erscheinen soll. $a B$ aber ist der eine Schenkel des äussern Sehwinkels $a B C$, durch welchen die Lage des Puncts a am scheinbaren Horizont bestimmt wird, und den wir bei dem Problem, wovon hier die Rede ist, als gegeben voraussetzen. Wir finden also vermittelt dem Strahl $a B$ unmittelbar das, was wir für jeden andern Strahl, z. B. $a Q$, auf einem Umwege erhalten würden, indem wir für einen solchen erst den Winkel $a Q C$ aus $a B C$ würden berechnen müssen. Im ersten Heft meiner Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge, S. 9, habe ich deswegen den Strahl $a B$ den Axenstrahl des Puncts a genannt. Ich hätte zwar eigentlich sagen sollen: man könne diesen für den Axenstrahl annehmen. Allein wer kann auf jedes mögliche Missverständniss gefasst seyn? Die Einschränkung ist jedoch hierbei nicht zu übersehen, dass die Lage von m durch den Strahl $a B$

nur dann mit völliger Schärfe bestimmt würde, wenn sich die sämtlichen Strahlen von a in m zu einem mathematischen Punct vereinigten. Da dies nicht geschieht, so giebt aB nicht grade den Mittelpunkt des Bildes an, das in m erzeugt wird. Daher fällt das Bild eines andern strahlenden Puncts a' , der mit a einerlei äussern Sehwinkel $a'BC$ hat, aber viel weiter als a vom Auge liegt, nicht genau mit m zusammen. Die Abweichung beider Bilder von einander wächst mit der Zunahme des Winkels $a'BC$. Aus diesem Grunde habe ich in meiner obigen Schrift (S. 10) nur gesagt, was Volkmann *) mit einem Fragezeichen anführt, mehrere der Augenaxe sehr nahe liegende Puncte, die einerlei Axenstrahl haben, würden in einerlei Richtung gesehen und deckten einander; nicht aber behauptet, völlige Gleichheit der Richtung und Congruenz fände hierbei im Allgemeinen statt.

Soviel in Beziehung auf die erste der obigen Fragen. Bei Beantwortung der zweiten, welche die Bestimmung der Stelle betrifft, an welche wir das Bild eines strahlenden Puncts ausser uns versetzen, ist zu unterscheiden: der Eindruck auf die Stelle, wo die Netzhaut von den vereinigten Strahlen eines Puncts getroffen wird, und die Vorstellung von der Richtung, in welcher der Strahlenkegel auf sie wirkt. Hätten wir Empfindungen von der Einwirkung sichtbarer Gegenstände auf das Auge, die denen der Einwirkung auf die Organe des Getastes ähnlich

*) A. a. O. S. 25.

wären, so würden wir nur die Rührung jener Stelle, nicht aber diese Richtung unmittelbar empfinden. Die letztere können wir uns nur vorstellen. Unsere Vorstellung davon kann aber durch nichts Anderes bestimmt werden, als durch die Beziehung des Bildes m (Tab. II. Fig. 20) auf der Netzhaut zu einer durch die Augenaxe $A B$ gehenden, horizontalen Ebene. Wir wollen, um die Sache zu vereinfachen, annehmen, m liege mit $A B$ in einer verticalen, also auf der horizontalen senkrecht stehenden Ebene. Nun ist der Winkel $m S A$, den ein, auf den Bogen $A L$ nach m gezogener Perpendikel $m S$ mit $A B$ macht, die einzige, nicht willkürlich vorausgesetzte Gröfse, nach welcher sich die Beziehung des Bildes m zu der horizontalen Ebene schätzen läfst. Von den vielen Strahlen des Kegels $b a d$ wirkt jeder nach seiner Brechung auf den Bogen $A L$ in m unter einem eigenen Winkel, und keiner derselben kann vorzugsweise das Bestimmende der erwähnten Richtung seyn. Wir können uns daher diese nicht anders als senkrecht vorstellen.

Aber wir müssen sie auch in dieser Richtung uns vorstellen, um das Bild m des Objects a an seine wahre Stelle des scheinbaren Horizonts $Z T$ zu versetzen. Die Form des letztern hängt von der Gestalt der Netzhaut, und diese von der Beschaffenheit der brechenden Flächen und Kräfte des Auges ab. Was keinen Eindruck mehr auf die Retina macht, ist nicht mehr für uns am Horizont. Nach ihrer Krümmung richtet sich die Art, wie sich die Objecte an diesem darstellen. Der Bogen $m A$ zwischen dem Bilde m

des Objects a , wovon der Strahlenkegel $b a d$ auf $D B F$ fällt, und der Augenaxe $A B$ verhält sich eben so zu dem ganzen Bogen $L A M$, der zwischen den Gränzen des von der Retina bedeckten Hintergrundes des Auges enthalten ist, wie der ganze scheinbare Horizont $Z T$ zum Bogen $C N$, auf dessen Gränze N das Object a dem Auge erscheint, und läge $Z T$ auf der convexen Seite von $M A L$, so würden $Z T$ und $M A L$ einander parallel seyn. Beide Bogen haben daher in allen Puncten concentrische Krümmungskreise, und wenn $a N$ auf dem Kreise der Krümmung in N senkrecht steht, so wird dieser Perpendikel, nach dem Auge hin verlängert, nicht nur die Augenaxe $A B$ in dem nehmlichen Punct S schneiden, worin $m S$ mit ihr zusammentrifft, sondern auch mit $m S$ eine und dieselbe grade Linie ausmachen. Erweckt folglich das Bild in m die Vorstellung von einem in der Richtung $m S$ befindlichen Object, so wird dieses an die Stelle N des Horizonts, die mit m und a in einerlei graden Linie liegt, also an seine wahre Stelle gesetzt.

Wenn die Krümmungen der brechenden Flächen des Auges concentrische Kreisbogen sind, so können dies auch die Curven $L A M$, $Z T$ seyn, nach welchen der Hintergrund des Auges und der Horizont geformt sind, und in diesem Falle geht die, der Linie $m N$ analoge Linie $r n'$, nach welcher ein anderes Object a' gesehen wird, ebenfalls durch den Punct S , der nun das gemeinschaftliche Centrum aller jener Bogen ist. In jedem Fall aber, wo die brechenden Flächen des Auges eine andere Krümmung als die cirkelförmige

haben, müssen die Linien mN , rn die Augenaxe in verschiedenen Puncten S , t schneiden. Doch kommen die Schneidungspuncte einander desto näher, je kleiner die äussern Sehwinkel aBC , $a'BC$ der Objecte a , a' werden.

Concentrisch sind die brechenden Flächen des Auges bei vielen Fischen. Die Hornhaut hat zwar meist bei ihnen einen andern Mittelpunkt, als die vordere und hintere Fläche der Linse. Allein bei der Dichtigkeit des Mediums, worin sie sich befinden, und der geringen Verschiedenheit derselben von der Dichtigkeit ihrer wässrigen Flüssigkeit, ist der Einfluß der Hornhaut auf die Brechung der Strahlen bei ihnen nur gering. Diese hängt bei ihnen fast blos vom Crystallkörper ab, der bei vielen Fischen eine vollkommene Kugel ist. Er hat z. B. nach meinen Messungen eine vollkommene sphärische Form bei *Gadus Aeglefinus*, *Trigla Hirundo*, *Cyclopterus Lumpus*, *Clupea Harengus* und *Anarrhichas Lupus*. Den Fischen stehen in Rücksicht auf diesen Bau des Auges zunächst viele Nagethiere. Aus der Tafel der Dimensionen des Auges von Säugthieren in meinen angeführten Beiträgen, S. 25, ergibt sich unter andern, daß bei *Savia Cobaya* der Radius des grössten äussern, horizontalen Bogens der Hornhaut $= 1,8$, der Halbmesser des grössten innern, horizontalen Bogens dieser Haut $= 1,78$, der Abstand der Linse von der Hornhaut in der Augenaxe $= 0,55$, die Axe der Linse $= 2,5$, der Durchmesser derselben $= 2,7$, und der Radius ihrer beiden Krümmungen $= 1,3$ Pariser Linien ist. Es beträgt also hier die

Excentricität zwischen dem größten äussern, horizontalen Bogen der Hornhaut und der vordern Krümmung der Linse $0,03''$, zwischen dem größten innern, horizontalen Bogen jener Haut und dieser Krümmung $0,05''$, zwischen der letztern und der hintern Krümmung der Linse $0,1''$, und die Linse ist fast kugelförmig wie bei den Fischen. Die beiden erstern, geringen Verschiedenheiten der Mittelpuncte rühren vielleicht nur von Fehlern bei der Ausmessung her. Die dritte ist etwas gröfser, doch auch noch so klein, dafs wenn man in dem Auge der Savie einen äussern, strahlenden Punct mit dem Mittelpunct der Hornhaut, diesen mit dem Centrum der Linse und das letztere mit dem Bilde des Puncts auf der Netzhaut durch grade Linien verbinden könnte, die Abweichung derselben von einer einzigen nicht zu bemerken seyn würde.

Ganz anders verhält es sich mit dem Auge des Menschen und der mehresten übrigen Säugthiere. Beim Menschen ist nach den Mittelzahlen meiner Tafel der Dimensionen des menschlichen Auges (S. 22 und 23 der angeführten Beiträge)

der Radius d. äussern, horizontalen Bogens d. Hornhaut	=	3,39''
- - - innern - - - - -	=	3,16 -
der Abstand der Linse v. der Hornhaut in der Augenaxe	=	1,17 -
die Axe der Linse - - - - -	=	2,04 -
der Durchmesser derselben - - - - -	=	4,01 -
der Radius der vordern Krümmung dieses Körpers	=	3,15 -
- - - hintern - - - - -	=	2,25 -

Hiernach liegt beim Menschen der Mittelpunct der Hornhaut im Mittel um $1,05''$ von dem der

vordern Fläche der Linse, und das Centrum dieser Fläche von dem der hintern Fläche der Linse um 3,36''' entfernt. Bei so grossen Excentricitäten können im Auge des Menschen und der hierin ihm ähnlichen Thiere die Linien mN , rn (Fig. 20) keinen gemeinschaftlichen Mittelpunkt haben.

Alles bisher Gesagte ist so evident, dafs ich nicht einsehe, was sich dagegen aus optischen Gründen einwenden liefse. Volkmann*) glaubt indess doch, meine Theorie von der Richtung, in welcher die sichtbaren Gegenstände vorgestellt werden, durch Versuche widerlegt zu haben. Er stellte vor dem einen Ende eines Lineals, das am andern Ende mit einem Diopter und einem verticalen Faden versehen war, eine Kerzenflamme, und brachte zwischen dem Faden und der Flamme auf der Fläche des Lineals den Augapfel eines weissen Kaninchens, wovon die Sclerotica weggenommen war, in eine solche Lage, dafs ein gewisser Punct der Augenaxe sich in einerlei graden Linie mit dem Faden und der Flamme befand und die Hornhaut der letztern zugekehrt war. Welche Lage er der Hornhaut gegen die Flamme nun auch geben mochte, wenn er den Augapfel um den erwähnten Punct drehete, so blieb doch immer das von aussen auf der Netzhaut sichtbare Bild der Flamme in einerlei graden Linie mit dieser und dem Faden. Daraus zieht Volkmann den allgemeinen Schluss: jeder Gegenstand werde immer in der Linie gesehen, die von ihm durch den erwähnten Punct zur Netzhaut

*) A. a. O. S. 24 fg.

geht, und dieser Punct sey der, um den sich der Augapfel bei seinen Bewegungen drehet.

Der Grund des Erfolgs dieses Versuchs liegt blos im Bau des Kaninchenauges, der dem des Savienauges ähnlich ist. An zwei Augen jenes Thiers, die ich gleich nach dem Tode untersuchte, fand ich im Mittel folgende Dimensionen:

Axe des Augapfels	7,8	Par. Lin.	
Größter Durchmesser desselben	8,5	-	-
Sehne des größten äussern Bogens der Hornhaut.	7,1	-	-
Sinus versus dieses Bogens	2,6	-	-
Radius desselben	3,7	-	-
Dicke der Hornhaut in der Augenaxe	0,1	-	-
Abstand des Crystallkörpers von der Hornhaut in der Augenaxe	1,0	-	-
Axe dieses Körpers	4,0	-	-
Durchmesser desselben	5,0	-	-
Sinus versus des Mittelstücks des größten, vordern Bogens desselben	2,0	-	-
Radius dieses Bogens	2,5	-	-
Sinus versus des Mittelstücks des größten, hintern Bogens jenes Körpers	2,0	-	-
Radius dieses Bogens	2,5	-	-
Abstand des Crystallkörpers von der Netzhaut in der Augenaxe	2,7	-	-

Wenn man also gelten läßt, was man zugeben muß, daß eine bei der Hornhaut statt findende Differenz von 0,1 Linie innerhalb den Grenzen der Genauigkeit liegt, die bei Ausmessungen kleinerer Thieraugen erreichbar ist, so sind die größten Bogen der Hornhaut und des Mittelstücks beider Flächen der Linse des Kaninchenauges concentrisch, und das gemeinschaftliche Centrum derselben ist ein Punct

der Augenaxe, der vom vordern Ende derselben um 3,6 bis 3,7''' absteht. Mit diesen Resultaten stimmen die der Volkmannschen Ausmessungen*) so genau überein, wie es in Fällen der vorliegenden Art nur irgend möglich ist. Ein Kaninchenauge, womit er experimentirte, war $7\frac{1}{2}$ Par. Linien lang in der Richtung der Augenaxe, und 8''' breit im Queerdurchmesser. Die Entfernung des Puncts, in welchem sich, bei einer gewissen Lage des Auges, die vom Object zu den Netzhautbildern gezogenen Linien kreuzten, vom vordersten Punct der Hornhaut betrug $3\frac{1}{4}$ ''' , mithin nur 0,3 bis 0,4''' weniger als bei den, von mir gemessenen Augen der Abstand des gemeinschaftlichen Mittelpuncts der äussern Fläche der Hornhaut und beider Flächen des Crystallkörpers vom vordern Ende der Augenaxe. Nach dem, was vorhin über die Strahlenbrechung im Auge der Savie gesagt wurde, enthalten also die obigen Volkmannschen Beobachtungen am Kaninchenauge nichts, was nicht mit den optischen Gesetzen der Refraction und meiner Theorie im Einklange ist.

Volkmann führt noch zwei Versuche an, worauf er Werth zu legen scheint, in denen ich aber keine beweisende Kraft finden kann. „Stellte ich“, sagt er*), „zwei Lichter in eine grade Linie, welche den „Achsenpunct der Hornhaut schnitt (Achsenstrahl „von Treviranus), so zeigten sich 2 Netzhaut- „bildchen. Eine derartige Linie bestimmt also die „Lage des Netzhautbildchens nicht wie die von uns

*) A. a. O. S. 28.

**) A. a. O. S. 27.

„bezeichnete Richtungslinie, die allen in ihrer Bahn „liegenden leuchtenden Punkten denselben Standpunkt „auf der Netzhaut anweist.“ Ich habe schon oben die Ursache angegeben, warum die Netzhautbilder zweier Objecte, welche die Linie mit einander gemein haben, die ich für den Axenstrahl angenommen habe, sich nur dann einander ganz decken können, wenn sie nicht zu weit von einander entfernt sind und der Augenaxe nahe liegen. Doch werden sie wahrscheinlich immer, auch bei einer weitem Entfernung von einander und von der Augenaxe, zusammenfließen. Wenn Volkmann zwei ganz getrennte Bilder sahe, so rührte dies wohl von der Unvollkommenheit des Versuchs her. Es ist nicht möglich, den mathematischen Axenpunct der Hornhaut genau zu bestimmen, und eben so wenig möglich, zwei Objecte mit diesem Punct genau in eine mathematische grade Linie zu bringen. Schon eine geringe Abweichung von diesen Erfordernissen kann aber eine Trennung der Netzhautbilder zur Folge haben. Dazu kömmt, daß das Kaninchenauge, wegen der dünnen und nachgiebigen Cornea und Sclerotica desselben, zu genauen Versuchen über die Strahlenbrechung in den Sehwerkzeugen nicht tauglich ist. Die Hornhaut dieses Theils kräuselt sich gleich nach dem Tode des Thiers, und die Sclerotica hat nicht Festigkeit genug, um den Augapfel in seiner ursprünglichen Ründung zu erhalten.

Bei einem andern Versuch drehte Volkmann*) ein Kaninchenauge so um den Punct, den er den

*) A. a. O. S. 28.

Rotationspunct desselben nennet, (den gemeinschaftlichen Mittelpunct der brechenden Flächen dieses Auges) dafs, wie er sich ausdrückt, „das Licht in „einem gröfsern Seitenwinkel als 90° auf die Hornhaut fiel“. „Demohngeachtet“, sagt er, „lag das „Flammenbildchen in einer graden Linie mit dem „Rotationspuncte des Auges und dem Objecte“. Ich weifs nicht, was mit jenem Ausdruck eigentlich gemeint ist. Stand die Kerzenflamme hinter der verlängerten Fläche des Kreises, der den Umfang der Hornhaut am Rande der Sclerotica bildet, so war es eine Unmöglichkeit, dafs von dem Licht Strahlen zur Netzhaut gelangen konnten. Die äusserste Gränze, wobei dies statt finden konnte, war bei einer Stellung der Flamme, wobei sie von einem verlängerten Halbmesser der Hornhaut, der durch jenen Umfang ging, noch getroffen wurde. Ein solcher Halbmesser macht im Kaninchenaugen, nach den obigen Ausmessungen des letztern, mit der Augenaxe einen Winkel von nicht völlig 90° . Wenn bei einem Winkel von dieser Gröfse in jenem Auge noch Strahlen zur Retina gelangen, so können die, dadurch erzeugten Netzhautbilder eben sowohl mit dem Object und dem gemeinschaftlichen Mittelpunct der brechenden Flächen des Auges in einer graden Linie liegen als die, welche bei jedem kleinern Winkel entstehen, und so beweist der letztere Versuch nichts weiter, als was die übrigen aussagen. Alle allgemeine Folgerungen, die Volkmann aus seinen Versuchen abgeleitet hat, und besonders auch seine, darauf gebauete Berechnung

der Gröfse des Bildes auf der Netzhaut beim kleinsten Sehwinkel sind also ungültig.

Auffallend ist es auch, dafs Volkmann, der den Scheinerschen Versuch zum Beweise einer Meinung anführt, für die er ein unsicherer Grund ist, denselben nicht in Beziehung auf seine Theorie von der Richtung des Sehens erwog, gegen die er einen sicheren Beweis giebt. Wenn in Fig. 13 (Tab. II) von einem Gegenstand p , der sich diesseits den Gränzen des relativ schärfsten Sehens befindet, durch die beiden Löcher a, b zwei Bilder d, f im Hintergrunde LN des Auges hervorgebracht werden, so sind dies zwar Scheinbilder, aber doch Erscheinungen, die in einer bestimmten Richtung gesehen werden. Die zu diesen Bildern gehenden Strahlen $o d, i f$ kreuzen sich im Auge nicht, solange p diesseits den erwähnten Gränzen steht. Ihre Kreuzung im Auge bei l kann erst dann eintreten, wenn p weit über diese Gränzen hinaus nach t gerückt ist. Sie gehen also nicht durch Volkmann's Drehungspunct des Auges. In welcher Richtung stellen sich die Bilder d, f nun aber dar? Auf diese Frage giebt es keine Antwort bei Volkmann's Theorie, wohl aber bei der meinigen. Sie werden nach den graden Linien gesehen, die auf den Krümmungen der Netzhaut in d und f senkrecht stehen, und in denselben Richtungen erscheinen auch zwei Objecte k, h , die nach Wegnahme des durchlöcherten Blatts $R N$ in den Linien $p o, p i$ so gestellt sind, dafs $p k = p h$ ist. Von diesen gehen, wie in Fig. 14 (Tab. II.), Strahlenbüschel, welche die ganze Pupille einnehmen, zur Netzhaut. Sie würden

in einer ganz andern Richtung gesehen werden müssen, als die beiden Bilder von p, wenn diese Richtung nicht bloß durch die Stellen der Bilder, sondern auch durch die Richtung irgend eines der Strahlen bestimmt würde.

Es wird übrigens kaum noch nöthig seyn, um die Unhaltbarkeit der Volkmannschen Meinung zu beweisen, an die wirbellosen Thiere zu erinnern, unter welchen es keines giebt, das einen, der Rotation fähigen Augapfel hat, und die doch ohne allen Zweifel durch ihre unbeweglichen Augen eben so genaue Vorstellungen von der Richtung, worin sie die sichtbaren Gegenstände aufzusuchen haben, als der Mensch und die Wirbelthiere durch bewegliche Augen erhalten.

5.

Ueber das Sehen der Gegenstände in ihrer wahren Stellung bei umgekehrtem Bilde derselben auf der Netzhaut.

Wenn Jemand mit einer Brille vor den Augen erwachte, welche die Gegenstände umkehrte und die er nicht von sich werfen könnte, wie würde ein Solcher sich benehmen? Nach der Meinung vieler Schriftsteller ist es ganz einerlei, ob wir umgekehrt sehen, was aufrecht steht, und zur Linken, was zur Rechten ist, wenn sich nur Alles nach einerlei Gesetz auf der Netzhaut darstellt. Der Mann mit der Brille

würde aber schwerlich diesen Herren Recht geben, und ihnen gewiss ein sehr linkischer Aufwärter seyn. Man versuche, unter einem zusammengesetzten Microscop einen Gegenstand zu präpariren. Blickt man darauf mit dem rechten Auge, während das linke geschlossen ist, so sieht man auch dann im Sehefeld Alles umgekehrt nach einerlei Gesetz. Man fühlt aber gleich den Gegensatz zwischen der umgekehrten Lage des Objects und der Richtung, worin unsere Tastorgane wirken.

Um auf die Frage, die im vorliegenden Fall zu beantworten ist, eine genügende Antwort zu finden, scheinen mir folgende Sätze die zu seyn, wovon wir ausgehen müssen.

Wir stellen uns jeden Eindruck, der auf irgend einen Theil unsers Körpers wirkt, zuerst immer als auf dem kürzesten Wege, mithin als senkrecht wirkend auf die Stelle vor, die von ihm getroffen wird. Diese Vorstellung kann nachher durch Wahrnehmung von Nebenumständen oder durch willkürliche Veränderung des afficirten Theils berichtigt werden. Wenn ein schmaler Luftzug eine einzelne Stelle unserer linken Wange trifft, ohne als ein grader Strohm weiter auf dieser fortzugehen, so können wir uns den Wind nicht anders als von der linken Seite senkrecht auf jene Stelle gerichtet vorstellen. Im vorigen Capitel ist gezeigt worden, dafs eben dieses Gesetz auch für die Sehwerkzeuge gilt. Nun aber sind die letztern sehr verschieden von den übrigen Sinnesorganen in Betreff der Art, wie äussere Eindrücke auf sie wirken. Beim Gehör, Geruch, Geschmack und Getast werden

Nervenenden der einen Seite von Eindrücken, die von derselben Seite kommen, obere von Eindrücken, die nach oben wirken, untere von nach unten gehenden getroffen. Im Auge findet grade das Gegentheil statt. Die Endursache ist hierbei klar. Die innere Fläche der Netzhaut ist hohl, und deswegen müssen Einwirkungen, die von einer gewissen Seite kommen, die entgegengesetzte Seite jener Haut treffen, um ihrer Richtung gemäß vorgestellt zu werden. Die Frage, worauf es ankömmt, ist also die: Wie die hier vorkommende Anomalie sich mit dem Gesetz, nach welchem die übrigen Sinneswerkzeuge wirken, vereinigen läßt?

Man giebt keine Antwort auf diese Frage, wenn man sagt, was man gesagt hat: Unsere Vorstellungen von rechts und links, oben und unten seyen Folgen der willkührlichen Bewegungen, die wir nach dieser oder jener Richtung machen, und wir stellten uns die Gegenstände, die zur Rechten, Linken u. s. w. liegen, als auf dieser Seite befindlich vor, weil wir die Augenaxe nach ihnen hinbewegen müssen, um sie deutlich zu sehen. Die willkührlichen Bewegungen nach einer gewissen Richtung sind Folge, nicht Ursache der Vorstellung von dieser Richtung. Wir bleiben also bei jener Antwort auf dem vorigen Punct.

Man könnte den Grund in einer Verschiedenheit der Augennerven von den übrigen Sinnesnerven in Betreff des Ursprungs und Verlaufs derselben suchen. Eine solche zeigt sich wirklich im Chiasma der Nerven des zweiten Paars. Zu jedem der übrigen Sinneswerkzeuge gehen Nerven blos von der Hälfte

des Gehirns, auf deren Seite sich das Organ befindet. Jedes Auge hingegen empfängt Nervenfasern aus beiden Hemisphären dieses Eingeweides. Um den Gegenstand der Frage hieraus vollständig zu erklären, würde aber noch vorausgesetzt werden müssen, dass die Fasern der rechten Hemisphäre zur linken, die der linken zur rechten Hälfte des Auges gehen, und dass sich im obern Theil des letztern die untern, im untern die obern Hirnfasern verbreiteten. Allein ein solcher Verlauf der Fasern in der Netzhaut lässt sich nicht nachweisen, und es würde, wenn er statt fände und als Erklärungsgrund gelten sollte, doch noch bei der Erklärung die Frage bleiben: Wie es sich mit den Eindrücken auf die Stellen, wo die Fasern der rechten und linken Hälfte der Netzhaut zusammenstießen, verhalten würde?

Ich glaube, die Auflösung des Räthsels ist darin zu suchen, dass wir beim Gesicht nicht den körperlichen Eindruck empfinden, der eine Vorstellung erregt, sondern gleich eine Vorstellung haben, die der Ursache des Eindrucks entspricht, ohne uns des letztern bewusst zu werden. Beim Getast, Geschmack und Geruch ist dies nicht der Fall. Mehr geistig und objectiv ist schon das Hören. Beim Sehen fühlen wir, dass unsere Vorstellungen von der sichtbaren Welt durch gewisse Organe vermittelt sind. Wir haben aber eben so wenig in der Netzhaut beim Sehen, als im Gehirn beim Denken, Empfindungen, die sich mit denen des Getastes vergleichen lassen, obgleich wir uns auch beim Denken einer Thätigkeit des Gehirns bewusst sind. Da also das Gesicht mit

dem Gestast das nicht gemein hat, was beiden gemein seyn müßte, wenn es eine körperliche Ursache der zu erklärenden Thatsache gäbe, so läßt sie sich nicht aus einem anatomischen Grund, sondern nur aus einem psychologischen Gesetz ableiten. Als eine organische Bedingung dieses Gesetzes wird man nur das annehmen können, daß, weil jedes Auge für sich fähig ist, Vorstellungen von der ganzen sichtbaren Welt zu erregen, jedes einzelne vom ganzen Gehirn Nervenfasern erhalten muß. Dieser Annahme entspricht aber auch die schon erwähnte, im Chiasma der Sehnerven sich findende Verbindung der Netzhaut jedes einzelnen Auges mit beiden Hirnhälften.

II.

Nachträge

zu den

Beobachtungen des Verfassers

über

den innern Bau der Retina.

Von den Entdeckungen, die ich in Betreff des innern Baues der Retina bis zur Mitte des Jahrs 1835 machte, gab ich eine vorläufige, kurze Anzeige in meiner Abhandlung Ueber den blättrigen Bau der Crystalllinse u. s. w. und nachher eine ausführliche Darstellung in meinen Neuen Untersuchungen über die organischen Elemente der thierischen Körper. In den anderthalb, seit jener Zeit verflossenen Jahren beschäftigte mich fortwährend jener Gegenstand und der innere Bau des Nervensystems überhaupt. Die Resultate meiner neuern Beobachtungen über diese Punkte stimmen mit dem, was ich in den obigen Schriften darüber gesagt habe, so sehr überein, daß ich mich jetzt noch bestimmter darüber erklären kann, als ich mich dort darüber ausgesprochen habe.

Es ist jetzt für mich ausser allem Zweifel, daß ein gegliederter oder variköser Bau der Elementarfäden des Gehirns, wie man ihn genannt hat, keinem

dieser Theile im natürlichen Zustande eigen ist. Man sieht nie einen solchen in Hirntheilen, die von eben erst geschlachteten, gesunden Thieren genommen, nicht mit Wasser befeuchtet, nicht durch Druck, Zerrung und andere mechanische Einwirkungen in ihrer Textur verändert sind. Man findet auch nie in oder an ihnen Kügelchen als solche, die sich zufällig aus zerrissenen Blutgefäßen zwischen ihnen ergossen haben, und im frischen Zustande als Blutkügelchen oder als die ausgetretenen Kerne derselben zu erkennen sind. Die Unterschiede, die es zwischen ihnen giebt, bestehen in ihrer größern oder geringern Feinheit, in der Weise ihres Verlaufs, und in der Art, wie sie bündelweise mit einander vereinigt sind, oder wie sich die feinen Röhren zu dickern mit einander verbinden. Es giebt in der Rindensubstanz Fäden, die dünner als der zehntausendste Theil eines Millimeters sind. Die Markröhren haben einen größern Durchmesser. Jene verlaufen oft, doch nicht immer, diese meist, bündelweise. In den Bündeln divergiren in der Regel die Fäden, doch oft so langsam, daß auf kleinern Strecken ihre Lage von der parallelen nicht abweichend erscheint.

Von den Markröhren werden bei den Wirbelthieren meist, doch auch nicht immer, die Nervenröhren gebildet. Eine Ausnahme machen die Riechfortsätze des Gehirns der vierfüßigen Säugthiere und die Sehnerven vieler Thiere, die nach ihrem Austritt aus der Schädelhöhle noch Rindenröhren enthalten. Zur Bildung einer Nervenröhre vereinigen sich in allen Nerven, nur mit Ausnahme der beiden, eben

genannten, mehrere Markfäden, und jene ist viel breiter als diese sind. Der Sehnerv besteht dann, wenn er nicht aus bloßen Corticalcylindern zusammengesetzt ist, doch immer aus eben solchen Markröhren, wie aus dem Gehirn zu seinen Wurzeln gehen.

Die Röhren des Sehnerven verbreiten sich nach dem Durchgang desselben durch die Sclerotica und Choroidea auf der inwendigen Fläche der letztern Haut strahlenförmig. Bei den mehresten Säugthieren und Vögeln biegt sich jede, nachdem sie auf dieser Fläche bis auf eine gewisse Strecke fortgegangen ist, nach der Mitte des Augapfels hin um, und endigt sich hinter der äussern Fläche des Glaskörpers mit einem abgerundeten Ende, welches sich den analogen, ihm zunächst liegenden Enden der übrigen Röhren so anschliesst, daß die Netzhaut auf ihrer inwendigen, dem Glaskörper zugekehrten Seite wie aus Kügelchen zusammengesetzt aussieht. Nach diesen Enden (Papillen) hin erhalten bei vielen Thieren die Röhren eine Steifheit und Brüchigkeit, die sie vorher nicht hatten, und welche verursacht, daß man neben einem Stück einer frischen Netzhaut, die man unter das Microscop gebracht hat, in dem anklebenden Theil des Glaskörpers sehr oft eine Menge stabförmiger Bruchstücke findet. Die abgerundeten Enden sind dann, wenn sie allem Anscheine nach sich noch in ihrem ursprünglichen Zustande befinden, bei dem Ochsen, Schaaf, Kaninchen, Igel und mehreren andern Säugthieren zwar etwas dicker als die, auf der auswendigen Seite der Netzhaut sich ausbreitenden Röhren des Sehnerven, doch nicht um soviel, daß sich nicht

der Unterschied bloß von einer Verdickung des äussern Endes jeder einzelnen Röhre, ohne Annahme einer Vereinigung derselben mit einer andern ableiten liesse. Ich finde z. B. beim Schaaf die auf der auswendigen Seite der Netzhaut liegenden Röhren kaum 0,001 Millim. die runden Enden derselben auf der inwendigen Seite dieser Haut zwischen 0,001 und 0,002 Millim. dick. Ich konnte aber doch bei jenem Thier nirgends ein Zusammenfließen mehrerer Röhren zu einer einzigen, dickern entdecken. Der grössere Durchmesser der, dem Glaskörper anliegenden Enden der Röhren scheint auch mit davon herzurühren, daß diese sich über ihre natürliche Breite ausdehnen, wenn der Druck, den sie bei unverletztem Auge gegen einander und gegen den Glaskörper äussern, aufgehoben ist.

Anders verhält es sich unter den Säugthieren beim Maulwurf, unter den Vögeln beim Schwan, und bei den kaltblütigen Wirbelthieren. Hier sind die Papillen auf der inwendigen Seite der Netzhaut so sehr viel grösser als die, aus dem Sehnerven hervortretenden Röhren, daß ihre Zunahme an Volumen sich nicht bloß aus einer Verdickung ihrer Substanz erklären läßt. In dem so äusserst kleinen Auge des Maulwurfs fand ich doch eine Netzhaut von ähnlicher Art wie bei andern Thieren. Auf der auswendigen Seite derselben verlaufen divergirend und in grader Richtung Röhren, die nicht dicker sind als die, die es auf eben dieser Seite beim Schaaf und Ochsen giebt. Die Papillen auf der inwendigen Fläche sind aber weit dicker, als die der Netzhaut

vieler anderer Säugthiere und namentlich auch als die des Igels, bei dem ich nicht so kleine anzutreffen erwartet hatte.

In keinem der Thieraugen, die ich früher untersuchte, kamen mir aber so große Papillen der Netzhaut vor, als im Auge des Hechts, und in diesem sahe ich aufs deutlichste gleich nach dem Tode des Fisches, was ich früher nur erst an einem vertikalen Durchschnitt der Netzhaut eines in Weingeist erhärteten Krähenauges beobachtete*), den Ursprung der Fäden, deren äussere Enden die Papillen sind, aus zwei dünnern Röhren, die wieder aus der Vereinigung noch feinerer entstanden seyn mußten. Die Retina des Hechts ist so dick, daß man kleinere Stücke von ihr durch einen horizontalen Schnitt in zwei Blätter theilen kann, die hinreichendes Licht durchlassen, um ihren innern Bau bei einer 300- bis 500maligen Vergrößerung beobachten zu können, was an einem undurchschnittenen Stück nicht thunlich ist. Bei einer solchen Vergrößerung erscheint das äussere Blatt auf der inwendigen Fläche ganz bedeckt mit sehr langsam divergirenden, oder auch ganz parallel neben einander fortlaufenden, etwas gekrümmten Fäden, die noch keinen Durchmesser von 0,001 Mill. haben. Auf der auswendigen Fläche des innern Blatts, die vor der Durchschneidung mit jener inwendigen Fläche der äussern Schichte zusammenhing, sieht man dickere, 0,003 Mill. im Durchmesser haltende, steife und sehr brüchige Fäden, die unter schiefen

*) Neue Untersuchungen über die organ. Elemente der th. K. S. 50.

Winkeln dem Glaskörper zugekehrt sind und sich auf der Seite des letztern unter einem spitzen Winkel paarweise mit einander verbinden. Aus dieser ihrer Vereinigung entspringen spindelförmige Theile, die anfangs nicht dicker sind als ihre beiden Wurzeln zusammengenommen, nach und nach aber eine Breite von 0,008 bis 0,009 Millim. erhalten, dann wieder etwas dünner werden, und sich hinter dem Glaskörper als Kegel mit abgerundeter Spitze endigen.

Dafs die Papillen der Netzhaut dicker als ihre Stiele sind, rührt nach meinen frühern Untersuchungen bei manchen Thieren, wenigstens zum Theil, von einem Ueberzug her, den die Papillen von der Gefäshaut der Retina erhalten. Diesen bemerkte ich nicht beim Hecht. Dafs aber doch oft eine solche Bedeckung vorhanden ist, fand ich an der Retina von Froschlarven, die eine Länge von ungefähr 6 Linien hatten, bestätigt. Auf dieser sind die Papillen mit ihren Stielen nicht so steif und brüchig, wie auf der Netzhaut des erwachsenen Frosches. Man kann beide Theile ungetrennt von einander untersuchen, und sie erscheinen in ihrer Verbindung als vollkommene Cylinder, die auf der Seite des Glaskörpers abgerundet und mit einer Haube von dunklerer Farbe, als die der Cylinder ist, bedeckt sind.

Sehr breite Papillen der Retina fand ich auch bei der gemeinen Natter (*Coluber Natrix*) und dabei entdeckte ich eine Eigenthümlichkeit der Netzhaut dieses Thiers, die noch bei keinem andern Wirbelthier beobachtet wurde. Auf der hintern Fläche derselben verlaufen nach verschiedenen Richtungen

breite, gekrümmte Streifen, die aus sehr zarten, parallelen, 0,002 Millim. im Durchmesser haltenden Fäden bestehen. Die Ränder der letztern sind nicht so scharf gezeichnet wie die der Fäden, welche bei vielen andern Thieren an dieser Stelle liegen. Sie lassen sich deswegen nur bei starker Vergrößerung und bei günstigem Lichte von einander unterscheiden. Die Glaskörperseite der Netzhaut ist gegen die, bei allen andern Wirbelthieren geltende Regel eben so mit einem schwarzen Pigment, wie die inwendige der Choroidea bedeckt. Dieses Pigment liegt zwischen dem Markblatt und dem Gefäfsblatt, läßt sich mit diesem ohne Verletzung der Markhaut abziehen, und hat in Zwischenräumen durchsichtige, runde Stellen, in welchen die, ebenfalls durchsichtigen Papillen der Marksubstanz hervorrage. Die Wäzchen kommen mit denen der Netzhaut des Frosches überein. Sie sind, wie diese, an der Spitze abgerundete Kegel, aber größer als diese. Der Durchmesser ihrer Basis beträgt 0,015 Millim. Ihre abgerundete Spitze ist, wie bei allen Thieren, dem Glaskörper, ihre Grundfläche der Choroidea zugekehrt. Ihre Basis hängt aber nicht, wie beim Frosch, Hecht u. s. w. mit steifen Nervenfäden zusammen. Die hinter ihr liegende Masse ist so weich, daß sich darin der Fortgang der zarten Fäden, die man auf der hintern Fläche der Netzhaut sieht, nicht verfolgen läßt. Wahrscheinlich findet hier das Nehmliche statt, was bei der Dosenschildkröte geschieht*),

*) Neue Untersuchungen über die organ. Elemente der th. K. S. 48.



dafs die auf der auswendigen Fläche der Netzhaut sichtbaren, feinen Fäden bündelweise zur hintern Fläche der Papillen gehen.

Wenn man diese Papillen in den ungefärbten Stellen der Gefäshaut sieht, so glaubt man, die durchsichtigen, von schwarzem Pigment umgebenen Glaskörper eines Insectenauges, wovon die, aus Facetten bestehende Hornhaut weggenommen ist, vor sich zu haben. Die Papillen haben auch mit diesen Glaskörpern in ihrer Gestalt, Festigkeit und Durchsichtigkeit viel Aehnliches. Sie unterscheiden sich jedoch sehr von denselben darin, dafs sie nicht mit dem breiten, sondern mit dem schmalen Ende der Hornhaut zugekehrt sind. Wäre dies nicht, so würde man sie für Körper halten können, worin jeder Strahlenbüschel nach seinem Durchgange durch den Glaskörper noch wieder eine neue Brechung erlitte. Auf jeden Fall läfst sich aus der Gröfse der Netzhautpapillen bei vielen Fischen und Amphibien auf ein weit weniger vollkommenes Sehen schliessen, als das der mehresten Säugthiere und Vögel ist, und damit stimmt die Kugelgestalt ihres Crystallkörpers überein, die, wie wir oben (S. 49) sahen, sich weit weniger zum schärfern Sehen als die Linsenform eignet.

Dies ist es, was ich bei neuern Untersuchungen des Baues der Netzhaut entdeckte. Zur Beglaubigung meiner Angaben kann ich mich auf die Uebereinstimmung derselben in den Hauptpuncten mit den Resultaten der Beobachtungen des, als scharfsichtigen und genauen Forschers allgemein verehrten

E. H. Weber's berufen. Dieser fand nicht nur bestätigt, was ich berichtete, sondern sahe auch noch einiges Andere, wodurch die Meinung von einem ursprünglich gegliederten Bau der Hirn- und Netzhautröhren völlig widerlegt wird. Er schrieb mir im July dieses Jahrs: „Ihre microscopischen Untersuchungen über die Gewebe und Elementartheile „habe ich zum Theil wiederholt, und mich Ihrer „Entdeckungen gefreuet. Dieses ist namentlich der „Fall beim Auge des Kaninchens, dem ich viel Zeit „gewidmet habe. Ich finde wie Sie die stabartigen, „feinsten Nervenfasern, die durchaus keinen varikösen „Bau haben, und weiche von Ihnen nur in zwei „Puncten ab: erstlich darin, dafs ich die weissen „Fasern, die Fontana als Fasern des Sehnerven „beschreibt, als Bündel solcher Nervenfasern erkenne; „zweitens, dafs ich finde, dafs die Stäbchen in Kugeln „endigen, welche einen 3 bis 4mal gröfsern Durchmesser haben als die Stäbchen*). Es scheinen sich „auch bei einer gewissen Annäherung des Microscops „die Nervenfasern mit kleinen kugelförmigen Enden „zu endigen, deren Durchmesser nicht viel gröfser „als der der Stäbchen ist. Ich glaube mich aber „überzeugt zu haben, dafs diese die in Verkürzung „gesehenen, einwärts gebogenen Enden der Stäbchen „sind. — Ich habe im menschlichen Auge, 12 Stunden „nach dem Tode, eine sehr ähnliche Structur als beim

*) Von dieser Endigung der Nervenfasern habe ich mich ebenfalls beim Kaninchen überzeugt. Die 4te Figur der 3ten Tafel des gegenwärtigen Hefts zeigt die Papillen der Netzhaut dieses Thiers.

„Kaninchen gefunden. — Auch bei Untersuchung
 „der Gehirn- und Nervenfäden bin ich zu ähnlichen
 „Resultaten gelangt als Sie. Vorzüglich viel habe
 „ich die Valvula cerebelli anterior bei Kaninchen
 „untersucht, weil dieses der Ort ist, wo man einen
 „Nerven (N. patheticus) besser als irgendwo anders
 „entspringen sehen kann. Es zeigt sich das Merk-
 „würdige, daß die Bündelchen der Wurzeln des
 „Nerven der rechten und linken Seite in einander
 „übergehen, manche auch deutlich auf die entgegen-
 „gesetzte Seite gelangen. Im ganz frischen Zustande
 „sind die weichen, durchsichtigen Fäden nicht varikös.
 „Durch die Zersetzung bei stundenlangem Liegen habe
 „ich gesehen, wie an verschiedenen Puncten der
 „Fäden eine durchsichtige Substanz hervorquillt, die
 „die Form einer Kugel oder eines unregelmäßigen
 „Auswuchses annimmt, der bald an der einen, bald
 „an der andern Seite, bald vorne, bald hinten ansitzt,
 „und wie sich diese Anschwellungen durch längeres
 „Liegen, durch Zerren und Drücken vermehren. Es
 „ist ein prachtvoller Anblick, wie sich die Gehirn-
 „fasern, von der einen Seite zur andern übergehend,
 „durchkreuzen, unter und über einander weggehen.
 „An den Commissuren des Rückenmarks glaube ich
 „an mehrern Stellen das Zusammenstoßen verschie-
 „dener Fäden gesehen zu haben. Durch Dehnung
 „sahe ich, wie geschlängelte Cylinder der Cortical-
 „substanz, die man für keine fasrige Masse anzusehen
 „geneigt seyn konnte, sich in glatte, ziemlich grade,
 „durchsichtige Fäden verwandelten. Alle diese Unter-
 „suchungen sind von mir sowohl bei durchgehendem,

„als bei auf den Gegenstand von oben auffallendem
 „Lichte gemacht und oft wiederhohlt worden. Ich
 „kann die Ehrenberg'schen varikösen Hirnfasern nicht
 „als natürliche Bildungen annehmen, die während
 „des Lebens statt finden, und stimme Ihnen also
 „hierin völlig bei“.

anatomischen Figuren.

Ich hatte früher nicht die Absicht, die zu nehmenden
 Beobachtungen über die organischen Elementartheile
 der thierischen Körper gehörigen Zeichnungen selbst
 zu machen, weil mir ein geschickter Künstler fehlte,
 von dem ich eine unter meiner Aufsicht konnte stehen
 lassen. Manche Umstände lassen mich aber ver-
 muthen, daß meine Angaben eben darum, weil sie
 nicht durch bildliche Darstellungen erläutert waren,
 von einigen unrichtig verstanden, von Andern nicht
 beachtet sind. In dem Selbstverständnisse abzuhelfen,
 habe ich den Gypsabdruck, der seit langen Jahren
 ungebraucht bei mir ruhte, noch einmal wieder zur
 Hand genommen, und einige der wichtigsten Figuren
 auf Kupfer übertragen. Wenn das was ich hierin
 auch bei weitem nicht den künstlerischen Werth hat,
 den solchen Arbeiten ein Meister theilen kann,
 so drückt es doch, wie ich glaube, den Charakter
 der Beobachtungen aus, und wird davon eine deut-
 lichere Vorstellung geben, als das wörtliche Be-
 schreibungen verschaffen können. Die meisten der
 dieser Figuren dienen zur Erläuterung des Baues der
 Nebenhaut des Auges. Im einen Gegenstand, der mit

Erklärung der anatomischen Figuren.

Ich hatte früher nicht die Absicht, die zu meinen Beobachtungen über die organischen Elementartheile der thierischen Körper gehörigen Zeichnungen bekannt zu machen, weil mir ein geschickter Künstler fehlte, von dem ich sie unter meiner Aufsicht konnte stechen lassen. Manche Umstände lassen mich aber vermuthen, daß meine Angaben eben darum, weil sie nicht durch bildliche Darstellungen erläutert waren, von Einigen unrecht verstanden, von Andern nicht beachtet sind. Um den Mißverständnissen abzuhelpen, habe ich den Grabstichel, der seit langen Jahren ungebraucht bei mir ruhte, noch einmal wieder zur Hand genommen, und einige der wichtigsten Figuren auf Kupfer übertragen. Wenn das, was ich liefere, auch bei weitem nicht den künstlerischen Werth hat, den solchen Arbeiten ein Meister ertheilen kann, so drückt es doch, wie ich glaube, den Character des Beobachteten aus, und wird davon eine deutlichere Vorstellung geben, als blos wörtliche Beschreibungen verschaffen können. Die mehresten dieser Figuren dienen zur Erläuterung des Baues der Netzhaut des Auges. Um einen Gegenstand, der mit

andern in genauer Verbindung steht, nicht ganz einzeln zu lassen, habe ich auf der 6ten Tafel einige Abbildungen von Endigungen der Nerven in den Organen des Gehörs und Geruchs beigefügt. Alle diese Figuren beziehen sich auf Beobachtungen, die theils in meinen Neuen Untersuchungen über die organischen Elemente der thierischen Körper, theils in den vorstehenden Nachträgen zu meinen Beobachtungen über den innern Bau der Retina vorkommen. Bei den Erklärungen derselben ist immer auf die Seite jener Schrift oder dieser Nachträge, wo man ein Weiteres darüber findet, verwiesen. Dafs die ihnen in Klammern beigefügten Zahlen und Buchstaben (z. B. 300 m. V.) die so und sovielmalige, lineare Vergrößerung bedeuten, wird vielleicht überflüssig seyn zu erinnern.

Tab. III.

Fig. 1. (300 m. V.) Sehr feine, nur 0,001 Millim. im Durchmesser haltende Cylinder des Sehnerven eines Schaafs, der in dieser Zusammensetzung aus Hirnröhren sehr verschieden von allen übrigen Nerven mit Ausnahme des Riechnerven ist. (Nachtr. S. 92.)

Fig. 2. (300 m. V.) Ein Stück der Retina des Schaafsauges, von der auswendigen, der Choroidea zugekehrten Seite gesehen. Die Fäden, die sich auf dieser Seite ausbreiten, sind dieselben Cylinder der vorigen Figur, woraus der Sehnerv besteht. Rechter Hand am Rande des Stücks bei a a zeigen sich von der Seite einige der Papillen, worin die Cylinder auf der inwendigen Fläche der Retina übergehen.

Hin und wieder scheinen auch mehrere, auf dieser inwendigen Fläche liegende Papillen durch die dünne Netzhaut so durch, daß man den ganzen Umfang ihrer Grundflächen, doch, da sie sich nicht im Focus des Vergrößerungsglases befinden, nur undeutlich sieht. Bei der Betrachtung einer solchen dünnen Retina durch ein schlechtes Microscop und beim oberflächlichen Beobachten kann man auf die irrige Meinung kommen, daß es auch auf der auswendigen Fläche dieser Haut Papillen giebt. (Nachtr. S. 94.)

Fig. 3. (300 m. V.) Die Papillen der Netzhaut des Schaafsauges, gesehen von der inwendigen, dem Glaskörper zugekehrten Seite.

Fig. 4. (300 m. V.) In schiefer Richtung von der Seite gesehene Reihen von Papillen der Netzhaut des Kaninchens. Die dunkeln Kreise zwischen den Papillen scheinen die Mündungen von Blutgefäßen zu seyn.

Fig. 5. (300 m. V.) Ein Abschnitt der Netzhaut des Maulwurfs von der auswendigen Seite. Die untere Hälfte aa des Stücks ist von einer schleimigen Substanz und zum Theil von schwarzen Pigmentkügelchen bedeckt. Auf der obern, unbedeckten Hälfte mm verbreiten sich divergirend feine, grade Cylinder, die sich bei cc endigen und Papillen bilden. (Nachtr. S. 94.)

Fig. 6. (300 m. V.) Ein mit Papillen besetztes Stück der Retina des Maulwurfs von der inwendigen Seite und auf gleiche Art wie das Präparat der 4ten Figur dieser 4ten Tafel gesehen. (A. a. O.)

Fig. 7. (510 m. V.) Auswendige Fläche eines Stücks von der Netzhaut einer kurzohrigen Eule (*Strix brachyotos*), welches auf der linken Seite in schiefer Richtung von aussen nach innen so abgeschnitten ist, dass man bei *nn* die Enden der Markcylinder sieht, die sich nach der inwendigen Fläche umbiegen und in der Form von Papillen darauf hervorragen. (Neue Unters. S. 47.)

Fig. 8. (510 m. V.) Diese Markcylinder sind steif und brüchig. In der Glasfeuchtigkeit, die der Netzhaut anklebt, liegen immer Bruchstücke derselben, die sich als solche stabförmige Körper darstellen, wie in dieser 8ten Figur abgebildet sind. (A. a. O.)

Tab. IV.

Fig. 1. (300 m. V.) Papillen der Netzhaut eines Staars (*Sturnus vulgaris*). (Neue Unters. S. 43. 44.)

Fig. 2. (300 m. V.) Aus ihrer ursprünglichen, regelmässigen Lage gebrachte Papillen der Netzhaut eines Schwans. (A. a. O. S. 44.)

Fig. 3. (300 m. V.) Eine senkrecht von aussen nach innen abgeschnittene, sehr dünne Scheibe von der, in Weingeist erhärteten Netzhaut einer Krähe (*Corvus Cornix*) — *aa*. Inwendiges, von schwarzem Pigment gefärbtes Blatt der Choroidea, das der Netzhaut anklebt — *bb*. Ueber diesem Blatt liegende, aus den organischen Elementen des Zellgewebes bestehende Schichte, welche die, auf der auswendigen Fläche der Retina sich ausbreitenden Markcylinder verhüllet, und ein Gefässnetz in sich schliesst, das wahrscheinlich venöser Art ist — *qq*. Senkrechte

Fortsätze dieser Markcylinder, deren Inhalt durch die Einwirkung des Weingeists in Reihen von Kügelchen verwandelt ist — d d. Zweite Lage von Zellgewebe, die ein, von Zweigen der Centralarterie des Sehnerven gebildetes Netz enthält, und worin die Markcylinder q q Scheiden vom Gefäfsblatt der Netzhaut bekommen — e e. Breitere, von diesen Scheiden umgebene Cylinder, worin die Röhren q q übergehen — m m. Dritte Lage von Zellgewebe, die von den Cylindern e e durchdrungen wird, und woraus diese als die Papillen n n hervorkommen. (A. a. O. S. 50.)

Fig. 4. (300 m. V.) An der Stelle der Schichte b b der vorigen Figur liegendes Venennetz der in Weingeist erhärteten Netzhaut eines Fuchses. Die durch die Maschen desselben dringenden Markcylinder sind durch den Weingeist in Kügelchen verwandelt. Die gröfsern, durchsichtigen Kreise sind ohne Zweifel die Oeffnungen durchschnittener Gefäfsse. (A. a. O. S. 50. 51.)

Fig. 5. (300 m. V.) Ein Stück der Netzhaut einer Dossenschildkröte (*Terrapene clausa*), dessen oberer Rand von aussen nach innen keilförmig abgeschnitten ist — a a. Die auswendige Seite, auf welcher hier nicht, wie bei dem Schaaf und der Eule, einzelne Markcylinder, sondern Bündel von Corticalcylindern verlaufen — d d. Papillen, worin die Enden dieser Cylinder übergehen. (A. a. O. S. 48.)

Fig. 6. (510 m. V.) Drei Reihen der Papillen dieser Netzhaut, ihre dem Glaskörper zugekehrte Fläche zeigend. (A. a. O.)

Fig. 7. (510 m. V.) Zwei dieser Papillen, die sich von den übrigen getrennt hatten und in der Glasfeuchtigkeit schwammen, von der Seite gesehen. (A. a. O.)

Fig. 8. (510 m. V.) Vier dieser Papillen mit den obern Stücken a a der in Fig. 5 dieser 5ten Tafel bei a a vorgestellten Bündel von Corticalcylindern, worauf sie stehen. Die obern Enden dieser Bündel sind stärker angeschwollen als die Papillen. Im Innern derselben sieht man die in ihnen befindlichen Corticalcylinder. (A. a. O.)

Fig. 9. (510 m. V.) Stücke von einigen dieser Corticalcylinder, besonders vorgestellt.

T a b. V.

Fig. 1. (300 m. V.) Stück der Netzhaut eines Frosches von der auswendigen Seite — m m. Dunkeler, vertiefter Streifen, wovon die sehr breiten und steifen, auf dieser Seite verlaufenden Cylinder ausgehen. (Neue Unters. S. 49.)

Fig. 2. (300 m. V.) Papillen der Netzhaut des Frosches, von ihrer, dem Glaskörper zugekehrten Seite gesehen. Die dunkeln Flecke in der Mitte dieser Wärzchen scheinen die Stellen zu seyn, an welchen sie mit dem, die inwendige Fläche der Netzhaut bedeckenden Gefäfsblatt zusammenhängen. Die vier untern Reihen der Papillen sind umgebogen, und erscheinen deswegen von der Seite. (A. a. O. S. 44. 45.)

Fig. 3. (300 m. V.) Zwei einzelne dieser Papillen, die ihre Seitenflächen dem Auge des Beobachters zukehren. (A. a. O.)

Fig. 4. (300 m. V.) Zwei abgerissene Stücke der steifen Stiele, worin sich die schmalen Enden der Papillen der vorigen Figur fortsetzen. (A. a. O.)

Fig. 5. (510 m. V.) Papillen der Netzhaut einer Froschlarve mit ihren Stielen, von der Seite gesehen. (Nachtr. S. 96.)

Fig. 6. (200 m. V.) Inwendige Fläche der Netzhaut einer Natter, bedeckt mit schwarzem Pigment, zwischen welchem die Papillen des Markblatts dieser Haut hervorragen. (A. a. O. S. 96. 97.)

Fig. 7. (200 m. V.) Ein Haufen dieser Papillen, von welchen das Gefäfsblatt der Netzhaut, worauf das schwarze Pigment liegt, abgezogen ist. Die Gruppe ist am Rande so umgebogen, daß man die mittlern Papillen grade von oben, die übrigen von der Seite sieht. (A. a. O.)

Tab. VI.

Fig. 1. (300 m. V.) Papillen der Netzhaut des Hechts, ihrer ganzen Länge nach und in ihrer Verbindung mit den Markcylindern des innern Blatts dieser Haut vorgestellt. (Nachtr. S. 95.)

Fig. 2. (300 m. V.) Cylinder des äussern Blatts der Netzhaut des Hechts, aus deren Vereinigung die Markcylinder der vorigen Figur zu entspringen scheinen. (A. a. O.)

Fig. 3. (300 m. V.) Ein mit Papillen besetztes Stück der Netzhaut des Hechts, gesehen von der inwendigen, dem Glaskörper zugekehrten Seite in einer solchen Richtung, daß die Wärzchen dem Auge des Beobachters ihre Seitenflächen zukehren. (A. a. O.)

Fig. 4. (300 m. V.) Papillen des Hörnerven auf einem Abschnitt vom Spiralblatt der Schnecke des innern Ohrs einer jungen Maus — a a. Knöcherner Theil des Blatts, der mit gedrängt an einander liegenden, conischen Papillen ganz bedeckt ist — b b. Häutiger Saum des Blatts, worauf es kleine, halbkugelförmige und reihenweise stehende Papillen giebt. (Neue Unters. S. 55).

Fig. 5. Eine Ampulle der Bogengänge des innern Ohrs eines Fuchses mit der einen von den beiden Platten, welche die Nerven dieser Canäle in der Ampulle bilden, etwas in Weingeist erhärtet — a. Oeffnung, wodurch die Ampulle in den einen der beiden Bogengänge, mit dem sie in Verbindung stand, überging — b. Endstück des andern dieser Gänge — c. Eintritt des Nerven in die Ampulle und Ausbreitung desselben in eine runde Platte, worin Markcylinder strahlenförmig aus einander fahren, sich trennen und wieder zu neuen Bündeln vereinigen, die sich zuletzt fadenförmig endigen. (A. a. O. S. 55. 56.)

Fig. 6. (510 m. V.) Drei Reihen von Papillen des Riechnerven auf der Riechhaut einer Maus. (A. a. O. S. 56.)

Fig. 7. (300 m. V.) Papillen des Riechnerven eines Igels. (A. a. O.)



Fig. 3. (500 m. V.) Ein mit Papillen besetzter
Theil der Nachhaut des Hiechls, gesehen von der
außen, dem Glaskörper zugekehrten Seite. In
einer solchen Richtung, dass die Papillen dem Auge
des Beobachters ihre Seitenflächen zuwenden. (A. u. O.)

Fig. 4. (500 m. V.) Papillen des Hiechls, die
einen Abschnitt vom Epithel der Sehnäse des
Hiechls aus einer jungen Maus — an menschlicher
Tafel des Hiechls, der mit Glycerin an einander
begeben, zwischen Papillen ganz bedeckt ist — ab-
gehoben. Unter dem Mikroskop, wenn es klein, hat
keine Papille und zwischen sich stehende Papillen giebt
(N. u. O. 55.)

Fig. 5. Eine Ampulle der Bogenwege des Hiechls.
Oben eine Fuchse mit der einen von den beiden
Falten, welche die Nerven dieser Canäle in der
Ampulle bilden, etwas in Winkelart erhoben —
Gefäß, wodurch die Ampulle in den einen der
beiden Bogenwege, mit dem sie in Verbindung steht,
übergeht — b. Rachen des andern dieser Gänge
— c. Kinntheil des Nerven in die Ampulle und Aus-
leitung desselben in eine runde Platte, worin stark
cylindrisch strahlenförmig aus einander fächerförmig sich trennen
und wieder zu neuen Bündeln vereinigen, die sich am
letzten Ende fächerförmig endigen. (A. u. O. 55. 56.)

Fig. 6. (510 m. V.) Drei Reihen von Papillen
des Hiechls auf der Nachhaut einer Maus.
(A. u. O. 56.)

Fig. 7. (500 m. V.) Papillen des Hiechls
auf Tafel (A. u. O.)

Druckfehler.

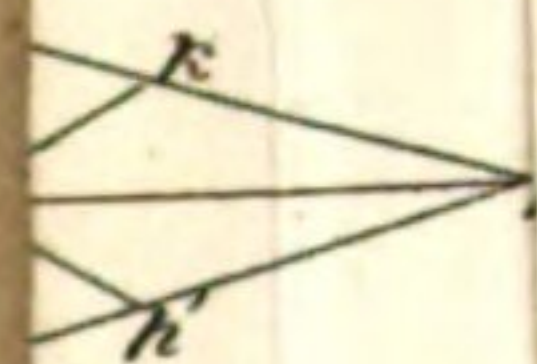
S. 34. Z. 7 ist nach sin. $DBK = u$, und S. 38 in der untersten Zeile nach sin. BDN ein Punct, als das Zeichen der Multiplication des u und sin. BDN mit der folgenden Gröfse, statt des Comma, zu setzen.

S. 42. Z. 2. In der Formel für y^2 ist nach $m - 1$ das Zeichen $)$ ausgelassen.

S. 46. Z. 8. In der Formel für X nach $\cos. \lambda p$ setze man sin. für s .

Druckfehler.

1. In der Formel (1) ist nach x zu differenzieren.
2. In der Formel (2) ist nach y zu differenzieren.
3. In der Formel (3) ist nach z zu differenzieren.
4. In der Formel (4) ist nach w zu differenzieren.
5. In der Formel (5) ist nach v zu differenzieren.
6. In der Formel (6) ist nach u zu differenzieren.
7. In der Formel (7) ist nach t zu differenzieren.
8. In der Formel (8) ist nach s zu differenzieren.
9. In der Formel (9) ist nach r zu differenzieren.
10. In der Formel (10) ist nach q zu differenzieren.



F

Tab. III.

F. 3



Tab. II.

n

m

e

d

g

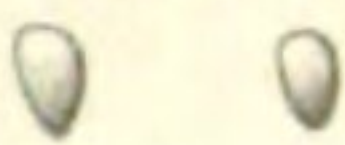
b

a

F. 2



F. 7



F. 9

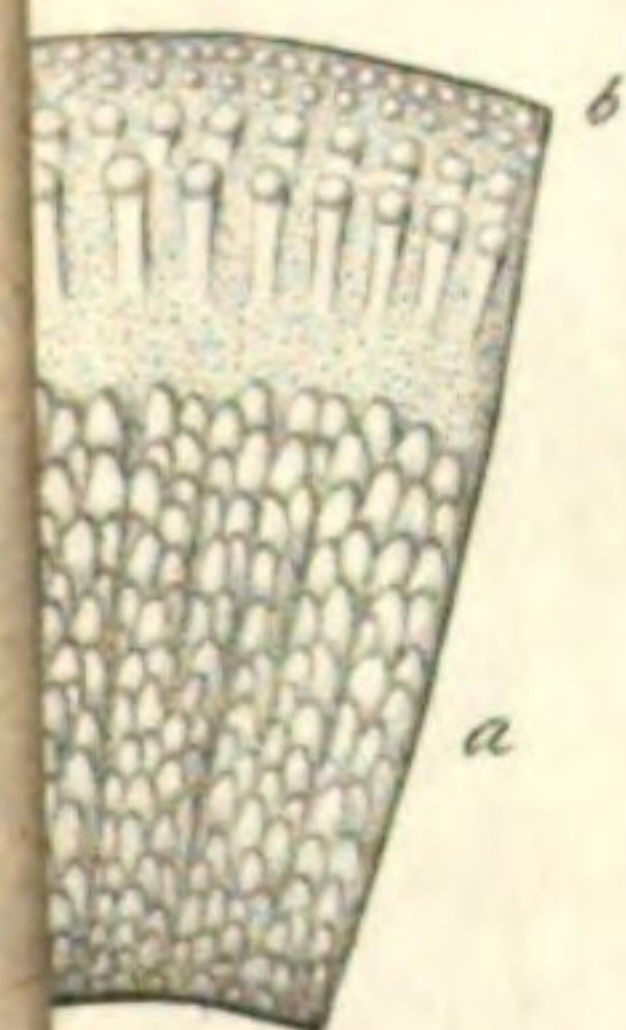


Tab. V.

F 2



F 4

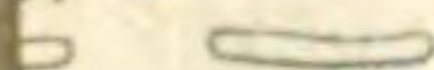


Tab. II.

F. 2.



F. 4.



Treviranus, Gottfried R. / Tiedemann, Friedrich, / Treviranus, Ludolf
Christian,

Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen
Lebens

Bd.: 1,3

Bremen 1837

Anat. 427 m-1,1/4

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10369582-5